



1991年 日本国際賞 受賞記念講演会

財団法人 国際科学技術財団

1991
JAPAN PRIZE
COMMEMORATIVE LECTURES

THE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOUNDATION OF JAPAN

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賞で、1985年にその第1回の授賞が行われました。

本年は、応用数学分野では、

ジャック-ルイ リオンス博士 (フランス)

コレージュ・ド・フランス教授

フランス国立宇宙研究センター総裁

医用画像技術分野では、

ジョン・ジュリアン・ワイルド博士 (アメリカ合衆国)

米国ミネアポリス医理学研究所長

の二博士が受賞されました。

今回の受賞記念講演会には、この二博士をお招きして講演をして頂きます。「日本国際賞受賞記念講演会」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頂ければ幸いに存じます。

1991年4月

財団法人 国際科学技術財団

会長 横田喜三郎

Message

Peace and prosperity are the fundamental aspirations of all mankind and the role that can be played by science and technology towards these ends is vast and boundless.

For the development of science and technology, the Science and Technology Foundation of Japan operates the activities to present the Japan Prize and as well to promote the comprehensive spread and development of thought and information involving science and technology. As the part of such efforts of promotion, a Commemorative Lecture by the Prize Laureates is held annually during the Japan Prize Week.

The Japan Prize is the award to honor those from all over the world who are recognized to have made original and outstanding achievements in science and technology and who have made substantial contributions to the advancement of science and technology and thus to peace and prosperity of mankind. The first Japan Prize was presented in 1985.

This year, 1991, the Japan Prize was presented to two Laureates in two Prize Categories as follows:

Category: Applied Mathematics
Laureate: Dr. Jacques-Louis Lions, Professor at the Collège de France.
President of the National Center of Space Studies, France (CNES).

Category: Imaging Techniques in Medicine
Laureate: Dr. John Julian Wild, Director, Medico-Technological Research Institute of Minneapolis

The two doctors have been invited to speak at the Commemorative Lectures, which are intended to offer a venue for the Laureates to speak directly to the general public who are interested in science and technology. We sincerely hope that these Lectures can provide inspirations and encouragement to those who will be the potential leaders in science and technology of the future generations.

Kisaburo Yokota
President
The Science and Technology
Foundation of Japan

講演会プログラム

東京-4月24日 [水]

有楽町「よみうりホール」

- 13:30** 開会
主催者挨拶
川村皓章 国際科学技術財団
常務理事
- 13:40** 講演者紹介
藤田 宏 明治大学工学部教授
- 13:50** 講演
ジャック-ルイ リオンス博士 (仏)
「コンピュータと数学
-現代の万能ツール-」
- 14:40** 休憩 (20分)
- 15:00** 講演者紹介
高久史磨 国立病院医療センター
院長
- 15:10** 講演
ジョン・ジュリアン・ワイルド博士(米)
「超音波体内検査法の発見と
その後の医学への応用」
- 16:00** 閉会

京都-4月26日 [金]

京都産業会館「シルクホール」

- 15:00** 開会
主催者挨拶
川村皓章 国際科学技術財団
常務理事
- 15:05** 祝辞
荒巻禎一 京都府知事
- 15:10** 講演者紹介
山口昌哉 龍谷大学工学部教授
- 15:20** 講演
ジャック-ルイ リオンス博士 (仏)
「コンピュータと数学
-現代の万能ツール-」
- 16:10** 休憩 (20分)
- 16:30** 講演者紹介
福田守道 札幌医科大学機器診断部
教授
- 16:40** 講演
ジョン・ジュリアン・ワイルド博士(米)
「超音波体内検査法の発見と
その後の医学への応用」
- 17:30** 閉会

PROGRAM

TOKYO April 24 (Wed.)

Yomiuri Hall

- 13:30 Opening Remarks
Mr. Tsuguaki Kawamura
Executive Director
The Science and Technology
Foundation of Japan
- 13:40 Introduction of the Laureate
Dr. Hiroshi Fujita
Professor
Meiji University
- 13:50 Lecture: "COMPUTERS AND
MATHEMATICS: A UNIVERSAL
TOOL"
Dr. Jacques-Louis Lions
- 14:40 Break (20 min.)
- 15:00 Introduction of the Laureate
Dr. Fumimaro Takaku
Director
National Medical Center
- 15:10 Lecture: "AN ILLUSTRATED
NARRATIVE OF THE DISCOVERY
OF ULTRASONIC SOFT-TISSUE
ECHOING IN 1949 AND ITS
SUBSEQUENT MEDICAL
APPLICATIONS"
Dr. John Julian Wild
- 16:00 Closing

KYOTO April 26 (Fri.)

Silk Hall

- 15:00 Opening Remarks
Mr. Tsuguaki Kawamura
Executive Director
The Science and Technology
Foundation of Japan
- 15:05 Congratulatory Address
Mr. Teiichi Aramaki
Governor
Kyoto Prefecture
- 15:10 Introduction of the Laureate
Dr. Masaya Yamaguchi
Professor
Ryukoku University
- 15:20 Lecture: "COMPUTERS AND
MATHEMATICS: A UNIVERSAL
TOOL"
Dr. Jacques-Louis Lions
- 16:10 Break (20 min.)
- 16:30 Introduction of the Laureate
Dr. Morimichi Fukada
Professor
Sapporo Medical College
- 16:40 Lecture: "AN ILLUSTRATED
NARRATIVE OF THE DISCOVERY
OF ULTRASONIC SOFT-TISSUE
ECHOING IN 1949 AND ITS
SUBSEQUENT MEDICAL
APPLICATIONS"
Dr. John Julian Wild
- 17:30 Closing

1991(第7回)日本国際賞受賞者

応用数学分野

受賞対象業績:

「分布定数系の解析と制御の研究、ならびに応用解析学の振興」

1991 (7th) Japan Prize Laureate

Applied Mathematics

Contributions to Analysis and Control of Distributed Systems, and to Promotion of Applied Analysis



ジャック-ルイ リオンス博士 (フランス)

Dr. Jacques-Louis Lions (France)

コレージュ・ド・フランス教授。フランス国立宇宙研究センター(CNES)総裁。1928年フランス生まれ。

伝統的な解析学の遺産を活かしながら、コンピュータの駆使を前提とする応用解析学の世界的規模での確立は、博士によってはじめて成し遂げられた。

博士自身による、顕著な研究業績のなかには、(1)ナビエ・ストークス方程式を含む数理物理の線形非線形偏微分方程式数学的解明、(2)差分法、有限要素法、罰金法等の近似解法の整備と基礎づけ、(3)変分不等式の導入、(4)均質化問題における漸近的方法の樹立があり、更に(5)分布定数系と呼ばれる偏微分方程式で表現される現象の制御理論は確率制御のそれを含めて正に博士により枠組みが確定し発展したものである。

この面における博士の研究は現在も活発に行なわれており、複雑な構造物の安定化、波動・振動系の厳密可制御性、乱流の制御、不足データのもとの予測に及んでおり、来るべき地球環境問題での数理面において、博士の方法は重要な役割を果たすものと期待されている。

又、産業面に対する博士の貢献は航空宇宙産業のための計算空気力学、石油技術に関するシミュレーション、エネルギー問題に関する貢献等著しいものがある。

応用科学、工学における科学計算と解析を総合しての研究を透徹した先見性と心服させる指導性でフランス、欧米、さらに世界において鼓舞したことも博士の特筆すべき功績である。

The Chairman of Analysis and Systems Control at the Collège de France and the President of National Center of Space Studies (CNES). Born in 1928 in France.

Dr. Lions has lead the world to establish the new field of applied mathematics which makes good use of expertises inherited inside the traditional discipline of analysis and which can fully benefit from the powerful functions of modern computers. Most remarkable acientific contributions by Dr. Lions have been done for; (1) mathematical analysis of linear and nonlinear partial differential equations of mathematical physics, e. g., the Navier-Stokes equation, (2) systematic improvement of approximating numerical methods like the difference method, finite element method and penalty method, (3) introduction of variational inequalities, (4) establishment of the asymptotic method for the homogenization problem and further (5) establishment and development of the control theory of distributed systems which are governed by partial differential equations. Dr. Lions keeps his active study of control of distributed systems and has recently obtained important results for stabilization of complicated structures, exact controllability of wave and oscillation systems, control of turbulence and judgement under missing data. Dr. Lions' method is expected to be the most promising one among existing mathematical approaches to the global and environmental problems. As for applications in industry, Dr. Lions has made considerable contributions to computational aerodynamics for the aerospace industry, simulation for the petroleum industry and mathematical analysis for French energy agent. It should be highly appreciated also that Dr. Lions has made enthusiastic services to encourage the integrated study of computation and analysis for applied sciences and engineering with sheer foresight and inspiring leadership in France and over the world.

「コンピュータと数学 -現代の万能ツール-」

ジャック・レイ リオンス

1. はじめに

まず最初にお目にかけるのは、人工衛星 SPOT 2号から撮影した地上の考古学遺跡です。このような考古学的に興味のある情報を、数学解析とコンピュータを駆使することによって、生のデータからどのように取り出していくのか、図を使って説明していきたいと思えます。

この例は、数学的な見方からすると単純なものです。それでも、科学と技術がきわめて密接に関連し合う分野で使われている「一般的な方法論」を示しています。その方法論は次の3つから成り立っています。

- (1) データ処理
- (2) 数学モデルの作成
- (3) 数学モデルからの情報の抽出

この(3)のために、数学解析とコンピュータという2つの道具が使われるのです。

さて、具体的な例をあげて科学と技術がどのように関連しているかを説明したいと思います。

この一般的な方法論は、人類のもっている永い伝統が生んだ「果実」でありまして、この伝統には、最大級の天才たちがしばしば決定的役割を演じました。

最近になって、スーパーコンピュータ、ワークステーション、データベース、ネットワーク、画像処理技術などが飛躍的に進歩するとともに、この一般的方法論の適用範囲はますます広がり、いまや3次元空間の中で時間的に変化する現象まで、取り扱えるようになりました。これは、たいへんな勢いで正のフィードバック効果が起こっていることを示しています。つまり、まず科学や産業の分野の新しい問題を、このような見地から考察します。その結果、新しい方法が発見されます。

すると、それによって、さらに新しく強力な道具が発展します。こうして、正のフィードバックがさらに進み、新しい科学技術の問題に取り組むよう促すわけです。この同じサイクルはくり返して進みます。

例を説明いたしましょう。

2. 安定性

これは歴史的な意味での注意ですが、重要な教訓を含んでいます。1910年から1922年の間に、英国の気象学者として名高いリチャードソン (L.F. Richardson) は、気象予報を計算によって導き出そうと考えました。彼の言葉によると、「夢みた」のでした。この人はたいへんな天才でしたが、実際には、彼のもくろみは失敗しました。

どうして失敗したか、それを説明しましょう。そして、この失敗について従来からいわれてきた理由が、実は本当ではないことを示したいと思います。この失敗が教えた教訓は、「より強力なコンピュータを簡単に使えるようになればなるほど、私たちが真の解に近づくことができるというのは、あくまでも私たちが正しい近似の方法を使っているという条件のもとでのみ可能なのだ」という教訓です。コンピュータは、不安定な数値解法に対しては罰をあたえます。もう少し一般的にいうと、きっちりした基礎をもたない議論やデータにも、モデリングにも、数学解析にも、またソフトウェアにも、罰をあたえるのです。

3. 均質化法、原子力の安全性、最適デザイン。

ここで説明するすべての例と結果は、フランス国内および諸外国の研究者たちとのチームワークによるものです。

はじめに周期構造をもった複合材料の取り

扱いについて解説して、そのための新しい数学的手段（均質化理論）について説明しましょう。そしてもう1つ、複合材料の幾何学について紹介します。この一例は原子力の安全性からでてきたもので、フランス電力会社EDFの研究者と国際的なチームによる協力によって成し遂げられたものです。もう1つの「均質化理論」の応用は、最適設計と多孔性物質のモデリングに関するものです。

4. 多体構造と制御可能性

“多体構造”とは、ここでは、宇宙空間やロボット工学で出てくるように、「大きさや次元や物質が多種多様な部品を、接合部によってつなぎあわせた構造」を意味しています。

問題は、このような構造を私たちの思い通りに行動させるためには、また、安定化し、コントロールして調節するためには、いったいどのようにすればよいか、ということです。そしてその方法は、取り扱いやすく、効果的で、しかも少々の外乱によっても乱されないような「強靱な」ものでなければなりません。

このような方向には、新しい問題が生じます。モデリングのための新しい方法として、漸近法という数学の技術が生まれ、また、制御のための新しい方法として、HUM(ヒルバートの一意性の方法)が生まれました。

このことについての数値結果をお目にかけます(これもチームワークによる成果です)。次に挑戦したいのは、非線形の問題です。分枝理論のコントロールを考えることができれば、工業的には重要な意味をもつでしょう。

5. 乱流と気候学

次の3つの条件を満たすような流れを乱流と呼びます。

- (1)初期条件や境界条件のわずかな変化によって、敏感に不確実な流れに変化する。
- (2)混合の度合いが高まる。
- (3)非常に広い範囲の空間的波長を含んでいる。

これらについては、できるだけ専門用語を使わないで説明しましょう。工業の分野では、走行する自動車のまわりの空気の流れ、航空機まわりの流れ、……、また、自然界では、河川の流れ、海洋の流れ、空気流などがあります。

この分野には興味ぶかい問題がいろいろとあります。その1つは、近似的でもよいから乱流をコントロールできるだろうか、というものです。これはまだ解決されていない問題です。

漠然とした予言を許していただくなら、この問題を解く1つのカギは、カオスと乱流との間のある種の“等価性”であり、もう1つは近似的制御可能性とは何か、という問題でしょう。

気候学からは、関連はしているが別の問題が提起されています。たとえば、アトラクターが存在するとしてそれはどんなものでしょうか。緩慢多様体、または慣性多様体とはどんなものでしょうか。10年から100年にわたるような気候の予報については、何を私たちは計算できるのでしょうか。

気候学のもう1つの重要な問題は、大気と海洋、海洋の水と氷といった界面の問題です。この最後の問題は、数学では自由環境値問題と呼ばれていて、変分不等式や疑似変分不等式によって研究されてきました。このような数学的な道具は、ベンサウサン(A. Bensoussan)が別の目的で(統計的制御のために)導入したものです。ここでは、制御不可能性の現象(非可逆的变化がともなうこともある)

も現れています。

6. “歩哨”と環境問題

惑星地球の環境問題と関係するすべての現象については、それが地球規模のものであっても局所的なものであっても、私たちは“何か起っている兆候”を知る必要があります（局所的な研究対象というのは、たとえば湖沼、閉水域、河口といった水のシステムです）。これを把握する新しい道具として、私たちは1988年に“歩哨”と呼ぶ概念を導入しました。

7. 最前線

最後に、現在の課題となっているフロンティア問題を示したいと思います。しかしそれは、たくさんの可能性のうちほんの一部でしかありません。

COMPUTERS AND MATHEMATICS: A UNIVERSAL TOOL

J-L Lions

1. INTRODUCTION

We shall present first an image of an archeological site obtained by the Satellite SPOT 2 and in successive images we show how informations of archeological interest can be extracted from these data by Mathematical Analysis and by the use of Computers.

This example, although simple from a mathematical viewpoint, is given as an introduction to the **general methodology** which consists in the **very close interplay** between three scientific and technological fields:

- (i) data processing
- (ii) mathematical modelling
- (iii) extraction of informations from the mathematical models, using
 - (iii) 1 mathematical analysis
 - (iii) 2 computers.

We shall make this interplay more precise by the way of examples.

This general methodology is the fruit of a long heritage, where some of the greatest geniuses of all times have played a decisive role.

Since the quite recent possibility offered by super-computers, by workstations, by data basis, by networks and by visualisation tools, it is becoming possible to treat by this methodology more and more evolution phenomena in 3 space dimensions. Hence a "positive feedback" appears of tremendous consequences: new problems are considered in science and in Industry from this point of view; this, in tern, implies that new methods are found, new and more powerful tools are developed; and then — the effect of positive feedback — these progresses give hope to tackle new industrial or scientific problems and so on.

We pass to examples.

2. STABILITY

This is a remark of an historical nature, with a very important lesson. During the period 1910–1922, a remarkable English meteorologist L.F. Richardson attempted (in his words, dreamed) to **compute** weather forecasts. Although a very exceptional man, his practical attempts failed. We shall explain why, and we shall also explain why the usual explanations of this relative failure are wrong. We shall show that the lesson is: the more powerful computers are, the closest we approach the "real" solution of the model provided we use **rigorous** approximate schemes. Computers "punish" instability and more generally all not well founded arguments, should it be in the data, in the modelling, in the mathematical analysis or in the software.

3. HOMOGENIZATION, NUCLEAR SAFETY, OPTIMUM DESIGN

All examples and results presented correspond to **team work** (on a National or International Basis). We shall first present composite materials with a periodic structure and explain why they call for new mathematical techniques (homogenization theory). A variant is composite geometry.

An example, coming from Nuclear Safety and provided by research workers from the EDF (Electricité de France) together with an International Team, will be shown.

Other applications of homogenization theory concern optimum design, porous media modelling, etc.

4. MULTIBODIES AND CONTROLLABILITY

"Multibodies" are here structures (such as those arising in Space or in Robotics and in many other places) which consist of several pieces (or bodies) of various sizes, dimensions, materials and which are "tied" together through junctions.

The question is: how to stabilize, to control, to regulate these structures — to make them behave as we wish! — in a way which is technically feasible, efficient and robust.

New problems arise in these directions: new mathematical techniques (asymptotics) for the modelling, new method for the control (HUM = Hilbert Uniqueness Method).

Numerical results (also joint team work) will be presented. The next challenge is: what to do in non linear cases? Can one envision the control of bifurcations, certainly a matter of importance in Industry.

5. TURBULENCE AND CLIMATOLOGY

A flow can be called "turbulent" when it shares three properties:

- (i) very high sensitivity to uncertainties, in Initial or in Boundary Conditions;
- (ii) increased mixing property;
- (iii) a wide range of spatial wave lengths is involved.

They will be explained in non technical terms. These properties appear in "Industrial" flows — around cars, airplanes, ... — or in "natural" flows — rivers, oceans, atmosphere, ... —

Very interesting questions arise. One of them is: can one approximately control turbulence? This is largely an open question. A still vague conjecture is that there is some kind of "equivalence" between turbulence and chaos on one hand and approximate controllability on the other hand.

Climatology raises different but related questions: what are the attractors (if any)? The slow or the inertial varieties? What can really be computed for large time horizons (from 10 years to 1 century)?

Another crucial problem is met in climatology: the question of interfaces. Interface Atmosphere/Ocean, or Interface Liquid Ocean/Solid Ocean. This last one leads to so called free boundary problems which were studied in the recent past by using Variational Inequalities and Quasi Variational Inequalities — a tool introduced with A. BENSOUSSAN for other purposes (impulse stochastic control). Some phenomena of non

controllability (i.e. of possible irreversible changes) appear here, a preoccupying observation.

6. SENTINELS AND ECOLOGY

In all phenomena concerning the Planet Earth System — should they be of a global nature or at a local level (such as pollution in water systems: lakes, closed seas, estuaries, ...) — we have to find signs that "something" is happening, or not —

A new tool — called Sentinels — has been introduced for that purpose in 1988. Numerical applications will be presented.

7. FRONTIERS

In conclusion, some of the present "frontiers" will be indicated. They show some of the trends.

1991(第7回)日本国際賞受賞者

医用画像技術分野

受賞対象業績：
「超音波画像医学の開発」

1991 (7th) Japan Prize Laureate

Imaging Techniques in Medicine

Development of Ultrasound imaging in
Medicine



ジョン ジュリアン・ワイルド博士 (アメリカ合衆国)

Dr. John Julian Wild (U.S.A.)

米国ミネアポリス医理学研究所所長。1914年英国生まれ。

1949年超音波A-mode装置を試作し、これにより世界で始めて超音波計測法による腸管の壁の厚さの計測に成功し、人体の軟部組織の解析に超音波を使用する端緒を開いた。さらに同博士は今まで全く試みられていなかった生体組織の2次元断層像を超音波B-mode法を用いて描出する装置を自作し、これを使用して脳腫瘍、乳癌の診断に成功した。とくに乳癌については婦人乳管内の直径7mmの小乳癌の診断に成功したことは有名である。このことは現在盛んに用いられている癌の早期診断への超音波の応用の可能性を明らかにしたもので、博士の業績のうちで最も高く評価されている。その他博士は現在ようやく実用機が開発され盛んに使用され始めた高周波振動子による体腔内走査法および超音波内視鏡開発の端緒となった特殊な診断装置を1955年に報告し、さらに超音波生体作用に関する研究を行うなど現在の超音波映像法の基礎を確立した業績は高く評価されている。

M.D., Ph.D., FAIUM, the Head, Physicomedical Institute, Minneapolis, U.S.A. Born in 1914 in England. In 1949, he has manufactured a prototype equipment for A-mode ultrasonography and with this equipment, had he succeeded to measure the thickness of human colon, the first attempt to use ultrasound for its biomedical application. Subsequently, he developed a 2 dimensional ultrasound image employing B-mode equipment, on which he has been also recognized as the first pioneer of medical ultrasonic imaging, the method today is widely used on a variety of occasions including detection and diagnosis of brain tumor and breast cancer. In particular, the breast imaging by this equipment brought about the success in imaging of a tiny 7 mm diameter nipple cancer. This has been indeed the first paper to describe an effective application of medical ultrasound in the screening of human cancers. Furthermore, the use of high frequency ultrasound in detecting abnormal changes of the colonic mucosa by the endoscanner in 1955, has only recently been aroused the attention to create practical application as endoscopic sonography. Together with his report on the biological effect of ultrasound, the whole work has made him to be unanimously recognized as the true pioneer of ultrasound imaging, the technique used extensively for the human health and welfare all over the world today.

「超音波体内検査法の発見とその後の医学への応用」

J.J.ワイルド

現在、医師の臨床診断を補助する手段として、X線、核医学、サーモグラフィ、磁気断層法、超音波といった各種の画像診断法があります。これらは、非侵襲的、つまり組織や器官を切ったりしないで検査できる方法です。たとえば腫瘍を発見したり診断する場合、これらのうちのどの方法が適しているかは、操作の仕方、とくに主観的に判断を下す検査者の視覚や熟練度が大きく関係します。

医学的な画像診断法の中で、超音波映像法は、物理学的、遺伝学的な影響という面では最も安全な装置です。しかも、腫瘍の存在を明らかにするだけでなく、ある種の腫瘍については、その位置はもちろん、その組織の特性までも定量的に診断することが可能です。このとき、熟練した臨床医の診断を求める必要がないこともあります。

腫瘍を発見・診断する能力が高いことと、安全で定量的な測定が可能であるという超音波の特徴を結びつけて、将来は、乳がんの集検（集団検診）や緊急を要するがんの診断などに使える効果的で安全で経済的なシステムが登場するでしょう。これは、現在最も切望されている保健システムです。

今回の講演では、私が過去に行った生物学的な研究としてのアプローチが、最終的にこうしたがんの診断法に結びついていった過程について、お話したいと思います。

ケンブリッジ大学での自然科学に対する広い教育と、ケンブリッジ大学医学修練過程の1つとして課されるロンドン大学病院での臨床修練を通して、私は、1940年代前半の戦時下のロンドンで外科臨床の問題となっていた「腸管急性症」の研究に取り組むことになりました。この基礎教育と経験が1つのきっか

けとなって、1946年に、ミネソタ大学外科学教室にポスト・ドクトラルフェロー（博士研究員）として採用されました。1949年には、急性腸症の際の腸管の厚さを超音波でパルスエコー法で計測し、よりよい治療法を選択したり予後（回復の様子）を診断する道を開くことになったのです。

1949年始め、ミネアポリス・ハネウエル制御会社の主任研究員に相談したところ、近くの海軍基地で、作戦用の15MHzの超音波による海軍航空隊訓練用航行シミュレータシステムを利用できることになりました。訓練装置は、Aモード（時間増幅）像のほかに、リアルタイムの2次元Bモード表示もオプションとしてついていましたが、私はAモード表示の方だけが使えることになりました。この15MHzの超音波装置を使って、犬の腸管壁の内面と外面の距離を識別できるかどうかの実験に取りかかりました。手始めとして振動子を入れる小さなチェンバー（小室）を作ることになりましたが、機械作りが好きな性格のおかげで、無難に仕上げることができました。超音波パルス波で組織の厚さを計測する初期の実験が成功したので、私は次の実験に取りかかりました。もともとが飛行訓練装置なので、超音波は長距離測定用になっており、これを海軍技師の協力を得て、簡単に生物観察のための短距離測定用に改造できるようにすることでした。また、試行錯誤の末に、1mmの新鮮な牛肉と9mmの脂肪組織を融合した標準検査試料を作ることができました。

標準検査試料をAモード法で調べてみると、組織界面からのエコーが認められましたが、組織内の構造からもエコーが得られました。偶然に胃がんで大きな腫瘍病変を持つ切除組織が手に入ったので早速検査をしてみると、

がん性潰瘍の部分で触診でふれる部分に、顕著な病的なエコーが検出されたのです。いろいろな位置で検査してみると、がん組織ではさまざまな特徴を示すことがわかりました。これらの実験によって、がん組織が超音波を反射したり減衰させることが、初めて科学的に実証されたのです。

実験結果の論文を1949年11月に書き上げ、1950年2月のSurgery誌に掲載されましたが、これが、軟部組織が超音波を反射するという最初の報告文献となりました。胃がん組織のがん潰瘍が異なった超音波反射を示すという発見は、がんに対して絶望的な意見が支配的であった中で、大きな突破口を開くものになりました。私はその時点で、生体の解剖学的な構造や組織学的な構築を、静止像あるいは動的な像として明らかにする超音波診断法の可能性を予想することができました。私は医師として、最も緊急を要する乳がんの診断と消化管の診断に取りかかる決心をしましたが、これは、当時使用していた超音波が、水晶発振子を使った15MHzという高い周波数の装置だったからでもあります。海軍基地では、悪性の神経組織病変について組織破壊の可能性を研究するとともに、臨床面では両側の乳腺組織の腫瘍の診断について研究を続けました。

この時点までの研究で、Bモード・セクタパルス波映像装置を製作する研究資金を得ることができました。これは1951年に臨床的に使用可能になりました。20個の乳腺腫瘍について、いろいろなパラメーターを変えながらAモード像をとらせ、それを健康な状態の像と比較しながら研究を進めました。こうし

たパターンの比較によって、症例ごとに数量的な比較ができること、また、腫瘍の反射波強度が周囲の健康な組織と対比できることを確認できました。この所見は、乳腺腫瘍と正常な解剖学的構造をBモード・セクタ走査して確認されました。この研究成果から、乳腺と消化管は15MHzで検査するのに適した臓器であり、そのために、直接式リニア走査型あるいはレーダー走査型診断装置を製作することが認められました。こういった臨床応用は、この当時使用できた周波数帯域や振動子の素材によって、ある程度制限されていたのです。

1953年5月、携帯式Bモード走査方式の装置が完成し、世界初の生体乳腺悪性腫瘍の映像化が可能になりました。この直径7mmの腫瘍は、乳嘴の炎症性変化と診断されたものでした。現在の診断装置でも、このような像は得られていません。1953年以来、乳嘴、乳暈領域の診断（全乳がんの25%にのぼる）が、このリニア型Bモード診断装置で下されてきました。その後の117例に及ぶ乳腺腫瘍の診断成績で、一種の指標である「positive predictive index」を使って、他のどんな検査法よりも高い診断精度が得られたのです。小さな乳がんの画像による視覚的な診断では、この診断法の優秀性が十分に証明されたと信じています。腫瘍は、周囲の正常な乳腺組織との対比で、陽性ないし陰性のコントラストを示す腫瘍として確認されました。両者のエコーパターンを示す腫瘍でも、腫瘍とこれを被う皮膚との間の部分については、組織のエコー輝度の低下が共通して認められています。この変化は、いずれも腫瘍細胞の侵潤によるものです。このことは、小さな腺組織結節の診断

が、信号処理の技術を使って客観的な方法として実現できることを示しています。

1963年に完成した乳腺自動走査装置は、乳腺を1/2000秒の速度で走査し、戻ってくるエコー信号を即座に計算できるものでした。この装置は、正常、異常の組織の鑑別をごく少量の組織について行うものでした。

パルスエコー法は、よく発生する部位のがんを集団検診で発見する場合に、とくに成功を収めています。現在もなお、この安全なエネルギーを利用して人類の福祉に役立つような、多くの応用可能性が残されていると信じます。

AN ILLUSTRATED NARRATIVE OF THE DISCOVERY OF ULTRASONIC SOFT-TISSUE ECHOING IN 1949 AND ITS SUBSEQUENT MEDICAL APPLICATIONS

John J. Wild

Several non-invasive, imaging techniques have been developed to aid the clinician in diagnosing disease: x-radiation, nuclear medicine, thermography, magnetic resonance and ultrasound. For tumor detection and diagnosis these techniques are highly dependent upon the adequacy and operation of particular machines, on visual responses of the human eye and on the clinician's skills for subjectively identifying an abnormality. Of the medical imaging techniques most frequently used, diagnostic ultrasound is safe with regard to causing physical and genetic effects. Furthermore, use of ultrasonic techniques offers the potential not only for rapid localization of tumors but also for exploiting its tissue characterization capabilities for detecting and diagnosing certain types of neoplasms quantitatively — that is, without the need for subjective evaluation by a trained clinician. This linkage of ultrasonic detection/diagnostic possibilities — safety plus quantitative objectivity — is my future hope for a new system of effective, safe, cost-effective per-case-found, mass-screening for breast and other short range cancer sites; an urgent need in our current health care delivery system. In this presentation an attempt will be made to describe empirical biological experiments leading ultimately to a means of mass population screening of the breast and gastro-intestinal tract.

A broad background education in natural sciences at Cambridge University and training in clinical medicine at University College Hospital in London, England, as part of Cambridge's medical degree program, provided the necessary qualifications for my undertaking medical investigations of acute human bowel crises while practicing surgery in London during the early 1940's. This background education and experience led to an offer, and acceptance by me in 1946, of a post-doctoral fellowship in the Department of Surgery, University of Minnesota, where in 1949 my continuing work on human bowel failure prompted inquiry into the feasibility of using pulse-echo ultrasound for measuring the thickness of bowel wall, in an effort to diagnose various types of bowel failure for determining preferred treatment and prognosis.

Early in 1949 consultation with a senior research staff member of Minneapolis Honeywell Regulator Company produced access to an operational 15 MHz naval flight trainer at a nearby navy airbase. The trainer was capable of both A-mode trace (time-amplitude) presentations and real-time, two-dimensional B-mode readout options, but only the A-mode function was readily available for my use. An experiment using dog bowel was designed to test whether the distance between inner and outer bowel wall could be resolved at 15 MHz using this existing equipment. Basic to further experimentation was construction of a small transducer chamber — not a difficult task, given my natural aptitude for mechanical engineering design and instrument fabrication. Success in these initial experiments, measuring soft tissues with pulse-echo ultrasound, led to the need for establishing a simple test procedure for use by the naval technician for adjusting the flight trainer from long to short-range A-mode operation for conducting future biological experiments. A naturally composite standard biological test specimen of 1mm of fresh beef muscle and 9mm of structural beef fat was arrived at by trial and error. A-mode examination of the test specimen proved echoing from gross anatomical boundaries and from within histological structure. By chance a surgical specimen of human stomach containing a cancerous ulcer became available. Significant echo changes were noted as the ultrasonic beam traversed areas nearing the tumor where cancerous invasion had been detected by palpation. Examination under a variety of positionings revealed differential sonic properties of carcinomatous tissue. These experiments proved scientifically that cancerous tissue reflected and attenuated ultrasound.

A paper reporting these experiments written in November 1949 was published in SURGERY in February 1950, the first in the scientific literature on soft tissue ultrasonic echo production. The discovery of differential acoustic properties of a cancerous stomach ulcer was a tremendous breakthrough in the dismal outlook for cancer in general at the time. I immediately saw the possibilities of harmless non-invasive examination of gross anatomical and histological structure in the

living organism, both statically and kinetically. As a physician I chose to follow up the most urgent possibility of examining the breast and gastro-intestinal tract, since my acoustic equipment at high frequency was available in the form of 15 MHz quartz transducer capsules being supplied to the naval establishment. Experimentation continued at the naval base to confirm my primary tumor findings on malignant neurological tissue, checking for possible damage, and application clinically to two living, intact breast tumors in a clinical setting. The work up to this stage encouraged funding to enable construction in 1951 of a portable clinical pulse-echo ultrasonic instrument into which sector B-mode prototype capability was incorporated for producing images in real-time, a necessity for examining living patients under clinical conditions. A series of 20 breast lumps were examined using the biological technique of controlling for multiple variables comparing A-mode traces of breast lumps with those of normal breast tissue in a comparable position. Analysis of these traces revealed a numerical ratio of comparison between cases and the existence of a natural, quantitative sonic energy contrast between neoplastic growths and the normal surrounding tissue in the same individual. This finding was confirmed by the sector B-mode instrument both for living intact tumors and for gross normal anatomical structure. This work justified the construction of equipment for direct linear B-mode and other radar presentations to be tested at suitable accessible clinical sites such as the breast and lower gastro-intestinal tract using the available 15 MHz transducers. The scope of clinical application was, at this time, limited by fundamental frequency-range problems and the state of the art of piezo-electric materials.

In May 1953 the development of a self-contained, hand-held linear B-mode instrument made possible production of the *first real-time image* of a living, intact malignant tumor. This 7mm growth had been clinically diagnosed as "inflamed nipple". A similar image has yet to be produced with present-day equipment. Since 1953 it has been possible to detect neoplasms in the nipple-areola of the breast (25% of all breast malignancies) with

this instantaneous, subjective visual readout system. A subsequent clinical series of 117 cases of breast lumps examined with a dedicated linear B-mode instrument produced a positive predictive index for malignancy in which predictive diagnostic accuracy has yet to be matched by other workers. Small breast tumors of various types were all visualized answering the scientific question as to the possibility of use of the technique for detection. Tumors were imaged in both negative and positive contrast to the normal background tissue speckle. In both contrast types of malignant tumors, compression of tissue speckle in the area of the tumor image closest to the skin was observed. This observation was construed as detection of infiltration by cancer cells. Thus it was considered that detection and diagnosis of small glandular breast nodules would be highly probable with an objective system with electronic signal processing.

Such equipment was produced in December 1963 which could ultrasonically sweep the breast and compute sonic energy returns at a scanning speed of 1/2000 second. This system would enable rapid interrogation of normal and abnormal histological tissue to detect small volumes of ectopic tissue.

Pulse-echo ultrasound should be successful in objectively finding cancerous tumors, at least at common sites, on a screening basis. There remain many further applications of this safe form of radiation to be explored and developed for the benefit of mankind.