

DR. M.S. SWAMINATHAN  
Centre for Research on Sustainable  
Agricultural and Rural Development  
11 Rathna Nagar  
Teynampet, Madras 600 018  
India

Mr. K. Miyaki  
The Honda Foundation  
6-20, Yaesu 2-chome  
Chuo-Ku  
Tokyo 104  
Japan

Dear Mr. Miyaki:

I enclose the abstract of my Honda Prize lecture. I shall send soon the full text of the lecture together with the tables and charts.

With warm personal regards.

Yours sincerely,

*M. S. Swaminathan*

Dr. M.S. Swaminathan

## HONDA PRIZE COMMEMORATION LECTURE

### ABSTRACT

#### ECO-TECHNOLOGY AND THE CONQUEST OF HUNGER

by  
Dr. M.S. Swaminathan

Hunger has remained through the ages an unconquered foe of humankind. Many time targets have been set during the post-World War II period of this century for ensuring that "no child, woman or man goes to bed hungry and no human being's physical or mental potential is stunted by malnutrition." Some recent examples are: the World Food Congress held in Rome in 1974 which set 1984 as the year for achieving such a goal, and the World Children's Charter adopted in New York in September 1990 under the auspices of UNICEF which also prescribed time targets for reducing infant mortality and for creating conditions for a productive and healthy life for all children by the year 2000.

On the other hand, there have been predictions from time to time of the possibility of occurrence of more widespread famines and for Malthusian calculations coming true in several parts of the developing world, including my country India. Paul and William Paddock in their book, "Famine - 1974," for example, predicted mass starvation in India by 1974. Fortunately, this has not come true. We know that both enhanced production and producer and consumer-oriented public action are essential for developing national and global food and nutrition security systems. I have defined "nutrition security" as economic and physical access to balanced diets and safe drinking water to all the children and adults of a country.

Taking my country as an example, I would like to illustrate the role of science and technology in the sustainable end of hunger. A team of experts sponsored by FAO in their report submitted in 1963 projected a 10 percent increase in food-grain production by 1970, a growth rate less than that of the growth rate in population, which was and continues to be above 2 percent. Food production, however, rose by nearly 50 percent during 1963-1970, thanks to the introduction of what is popularly known as the "Green Revolution" technology, thereby helping to avoid the predicted famines. Technology coupled with trade opportunities based on remunerative prices made projections based on extrapolation from past achievements inappropriate.

Average yields of cereals like rice and wheat had remained in India at about one metric ton/hectare for centuries. Hence, in the early fifties a programme of rice improvement based on hybridization of **japonica** rice varieties obtained from Japan and **indica** rice varieties grown in India was started for the purpose of transferring genes for response to good soil fertility and nutrient supply from **japonica** to **indica** strains. While some good strains came out of this programme, more widespread progress in improving the per hectare yield of **indica** rice varieties occurred in India as well as other countries in South and South-East Asia only with the introduction of semi-dwarf **indica** strains, first from Taiwan (Taichung Native 1) and later from the International Rice Research Institute in the Philippines (IR-8).

In wheat, striking progress was witnessed in the late sixties with the transfer of Norin dwarfing genes from Japanese material into spring and winter wheats. The semi-dwarf spring wheat material developed in Mexico under the leadership of Dr. Norman E. Borlaug showed wide adaptation in India, Pakistan and many other countries, since they were also relatively photo-insensitive. The commercial exploitation of heterosis or hybrid vigour in rice, maize, sorghum, pearl millet, pigeon pea, cotton and several vegetable crops added a further dimension to productivity-based production programmes. These developments in plant breeding coupled with good agronomic practices led to a doubling of average yields in several crops during the seventies and eighties.

Maintaining the high yields already reached on an ecologically sustainable basis is the primary goal of the era of ecological agriculture now beginning in the industrialized countries. In contrast, raising productivity to the levels essential to meet the food, fodder, fuel wood, fibre and other needs of the growing population, based on ecologically friendly technologies, is the major aim of the agricultural research strategy of India. The famine of jobs and consequently of purchasing power is the primary cause of undernutrition in India. About 100 million jobs will have to be created in India between now and the year 2000, both in rural and urban areas, to ensure economic access to balanced diets.

In 1968, when there was evidence that India can make significant progress in wheat and rice production through higher yields per hectare, I pleaded for higher yields through eco-technology rather than exploitative technology in my presidential address to the Agriculture Section of the Indian Science Congress. The eco-technological enhancement of biological productivity, in my view, should have the following major components:

- i) **Soil health** maintenance through concurrent attention to the physical, chemical, microbiological and erodability aspects of improving and maintaining the biological potential of the soil.
- ii) **Water use** efficiency, including the conjunctive and sustainable use of surface and ground water;
- iii) **Management** of weeds, pathogens and insect pests through an integrated pest management strategy;
- iv) **Energy management**, particularly nutrient supply, through green manures, inclusion of legumes in the rotation, bio-fertilizers, organic manures and need-based application of mineral fertilizers;
- v) **Post-harvest management**, involving the preparation of value-added products from every part of the plant and animal biomass and promoting packaging and marketing techniques which are not wasteful in energy consumption;
- vi) **Reviving** interest in eco and health foods and botanical pesticides and pharmaceuticals;

vii) **Reviewing** and **redesigning** multiple and mixed farming systems involving crop and animal husbandry, capture and culture fisheries and forestry and agro-forestry, so as to promote sustainable systems of land and water use as well as the conservation of biological diversity and critical ecosystems; and

viii) **Reducing** the farm sector's contribution to greenhouse gas accumulation in the atmosphere and **promoting** through the greening of degraded and waste lands a better balance between carbon emission and carbon absorption.

Such an **Eco-Green Revolution** needs strong scientific and public policy support. An important scientific need is the establishment of Genetic Resources Centres for Sustainable Agriculture and Genetic Enhancement Centres for the production of novel genetic combinations through recombinant DNA experiments. Such material can then be used in the development of location-specific crop varieties. In addition, anticipatory research centres to produce new material and management technologies for adaptation to possible changes in temperature, precipitation, sea levels and ultra-violet- B radiations are essential for promoting a new paradigm of agricultural research based on the principles of ecological sustainability, economic efficiency and social equity. It is to this paradigm of agricultural and rural development research that the Centre for Research on Sustainable Agricultural and Rural Development at Madras is addressing itself.

Ecological sustainability needs location specific technology. It involves participatory research with farm men and women. Public policy and private initiative and investment should both be tailored to the needs of such an Eco-Green Revolution, if the food production component of the conquest of hunger is to remain satisfactory now and forever.

FROM 株式会社

1991年 8月 6日 13:32 頁 13:28 電話3112777053 2 / 2



HONDA FOUNDATION

財団法人 本田財団

8-20, Yaseu 2-chome, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan

Fax:03-3274-5103, Tel:03-3274-5125

FACSIMILE

Numbers of pages transmitted: Cover + ( / )

To: Dr. Monkombu Swaminathan

(Fax No. 03-3274-478148)

Date: 6<sup>th</sup> Aug. '91

Time:

From: Takeso SHIMORA

SOICHIRO HONDA, 1906-1991

Soichiro Honda, 84, founder and supreme advisor of Honda Motor Co., Ltd., passed away Monday, August 5, 1991 at 10:43 a.m. Japan Standard Time (August 4, 1991, 9:43 p.m. EDT) at Juntendo University Hospital in Tokyo due to complications from a malfunctioning liver.

According to his wishes, a funeral will be limited only to members of Mr. Honda's immediate family.

Respecting his wishes, Honda Motor Co. will not hold an official company funeral. However, to express gratitude on behalf of Mr. Honda to those who supported him throughout his career, Honda Motor Co. will hold a memorial service at a later date to be determined.

Following are comments from Nobuhiko Kawamoto, president and CEO of Honda Motor Co., Ltd.:

"I am too saddened even for words at the sudden and sad news of the passing of Mr. Soichiro Honda. Mr. Honda is not only the founder of Honda Motor Co. Ltd., but the individual who, as a human being and an engineer, taught us the challenge of life without compromise and the real meaning of technology. With a great deal of affection and respect, we called him "Oyaji-san," which means "great father." Words cannot express the sorrow we feel for his departure. With great admiration for his outstanding life and achievements, may his soul rest in peace."



October 11, 1990

PRESS RELEASE

1990 HONDA PRIZE

Awarded To

PROFESSOR FREI OTTO

TOKYO --- The Honda Foundation (President, Takeso Shimoda) has decided to grant the 1990 Honda Prize to Prof. Frei Otto of Stuttgart University.

With the increasing attention being given to lightweight architecture -- more often referred to as a membrane structure in recent years, use of new membrane materials and progress in structural calculation using computers are bringing about tremendous developments in this field. Professor Otto, who established the concept of this lightweight architecture, paved the way for the first step towards the development of membrane structure (an approach that has lead to subsequent computer analysis) by developing a practical model study technique for structuring theory and overcoming the difficulties of planning.

This prize has been awarded to Professor Otto for "his introduction and development, in the field of architecture, of a new creative method of the membrane structure based upon his profound interdisciplinary study into ecological structure, organization and models imbued with a harmony and natural balance. Further, it has been granted in recognition of his

many outstanding works of architecture, which have been built utilizing such new methods and which reflect his concept of a beautiful and rich human environment." With these considerations, his efforts have been highly evaluated as having made a great contribution to "the diffusion of technology that is truly useful to human society," a contribution which coincides with the goals of the concept of eco-technology advocated by the Honda Foundation.

The Honda Prize is granted to individuals and groups that have recorded outstanding accomplishments as seen from the viewpoint of "eco-technology" (true technology, the goal of which is to harmonize with the whole environment that surrounds human activities), which the Honda Foundation has been advocating. This year, Prof. Otto is the eleventh winner. The amount of the supplementary prize is to be 10 million yen.

Eco-technology: A coinage combining "eco" from "ecology" with "technology." It is a new technological concept which harmonizes the progress of technology and civilization, rather than merely pursuing technology designed only for efficiency and profit.

## CURRICULUM VITAE

Professor Frei Otto

- 1925 Born in Siegmarsdorf, Sachsen, Germany
- 1950-1951 Studied sociology and city planning at the University of Virginia
- 1952 Obtained the title "independent architect" from Berlin
- 1962 Became a visiting professor at the University of California, Berkeley and at Harvard University
- 1964 - Served as professor and director at the Lightweight Plane Support Institute of Stuttgart University
- 1969 Founded Atelier Warmbronn
- 1973 Doctor of Art and Architecture from the University of Washington, U.S.A.
- 1980 Honorary Doctor of Science from Bath University, U.K.

In addition, Professor Otto has worked with numerous architectural styles including gardens, kindergartens, churches and hotels as well as the German Pavilion in the Montreal Expo of 1967 and the Roof of the Munich Olympic Games in 1971, receiving various awards from many countries.

平成2年10月11日

一九九〇年度 本田賞

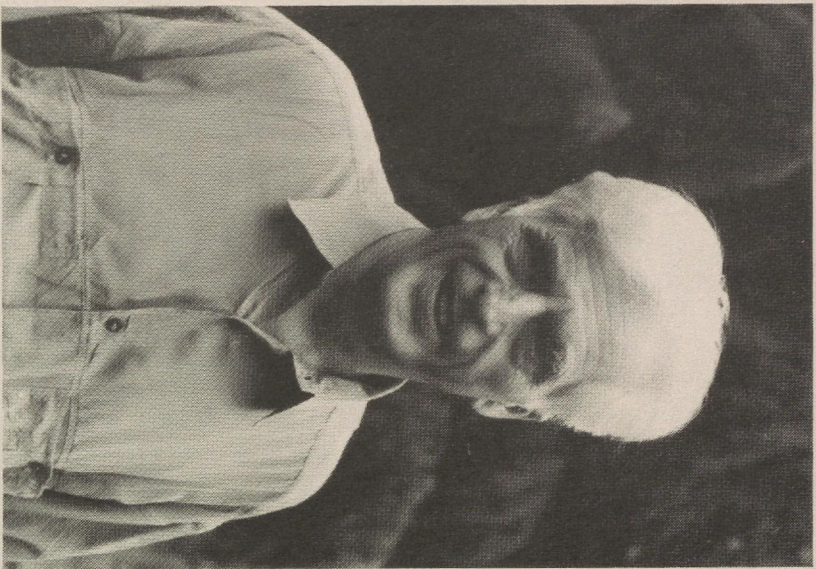
### 膜構造建築のオットー氏に

本田財団が授与

本田財団（下田武三理事長）では、一九九〇年度の本田賞をシュッツガルト大学のF・オットー教授(65)に贈ることを決定した。

近年、膜構造建築と呼ばれる軽量建築が注目を集めているが、新しい膜材料の利用とコンピュータによる構造計算の進歩がこの分野に飛躍的な発展をもたらしている。オットー氏は、この軽量建築の概念を確立し、理論構築と同時に計画の困難を克服する為の実際のモデル・スタディ手法を開発して、膜構造発達の端緒（後のコンピュータ解析の先導的アプローチ）を作った。

今回の受賞は、氏が『自然の調和と均衡を備えた、生態的構造、組織、造形について学際的見地より深く研究して、建築学の分野に新しい独創的な膜構造の手法を導入・開発するとともに、この新しい手法を用いて、美しく豊かな人間環境の観念に即した数々の優れた建築作品を残した』ことが、本田財団の提唱するエコ・テクノロジーの目指す「人間社会に真に役立つ技術の普及」に、大いに貢献したものと高く評価されたものです。



F. オットー氏

## F. オットー氏略歴

1925年	ドイツ、ザクセン州ジークマール生まれ
1950年～51年	ヴァージニア大学、社会学、都市計画を研究
1952年	ベルリン「独立建築士」の称号取得
1962年	カルフォルニア大学バークレー校及びハーバード大学 客員教授
1964年～	シュツツガルト大学軽量建築研究所 (IL) 教授兼所長
1969年	アトリエ・ヴァアルムブロン開設
1973年	米国、ワシントン大学 芸術・建築学博士
1980年	英国、バース大学 名誉科学博士

この他、モントリオール万博ドイツ館 (1967)、ミュンヘンオリンピックの屋根 (1971) を代表とし、庭園、幼稚園、教会、ホテル等、数多くの建築物を手掛け、各国より、数々の賞を受賞する。

本田賞は、本田財団の提唱する『人間活動を取りまく環境全体との調和をはかった真の技術＝エコ・テクノロジー』の観点から、すぐれた業績を挙げた個人または団体に贈られるもので、本年度のオットー氏は十一人目。副賞賞金額は二千万円。

### エコ・テクノロジー (eco-technology)

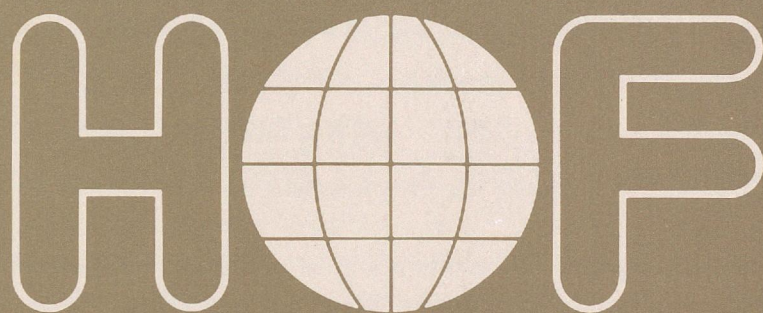
エコロジー (ecology…生態学) とテクノロジー (technology…科学技術) とを組合わせた造語。

「従来の効率と利益のみを追求する技術でなく、人間活動を取りまく環境全体との調和をはかった真の技術」としての新しい技術概念。

HONDA PRIZE

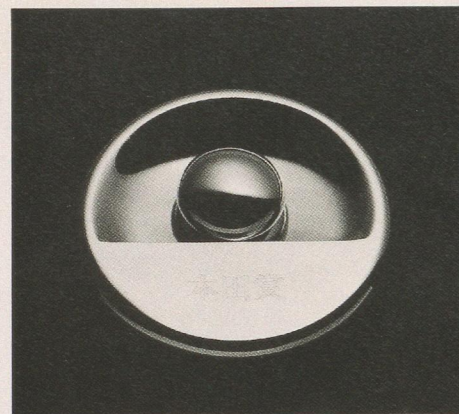
---

本田賞



1990

本田賞  
HONDA PRIZE



人間尊重の文明を創造することは、われわれ全人類にとっての大きな課題です。現代文明がかかえている問題を解決していくためには、従来とはまったく発想の次元を異にした何らかの新しい接近方法を必要としています。

本田財団では、その具体的な方法として、従来の効率と利益のみを追求する技術でなく、人間活動を取りまく環境全体との調和をはかった真の技術——新しい技術概念「エコ・テクノロジー」を提唱しております。

従来の「エコロジー」と「テクノロジー」の調和を目指すこの「エコ・テクノロジー」を確立・普及させるため、本田財団は、1980年から本田賞を設立しました。

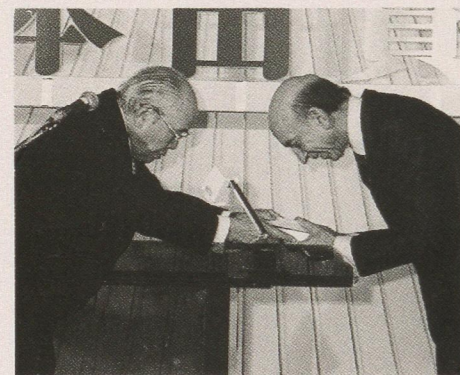
本田賞は「エコ・テクノロジー」の観点から顕著な業績をあげた個人またはグループに、国籍を問わず、年間1件贈呈するもので、副賞として1,000万円が贈られます。

The creation of a humane civilization is a great challenge facing all mankind. In order to solve the problems of modern civilization, a completely new approach is required.

The HONDA FOUNDATION advocates "eco-technology," a new concept of technology which does not pursue efficiency and profits alone but is geared toward harmony with the environment surrounding human activities.

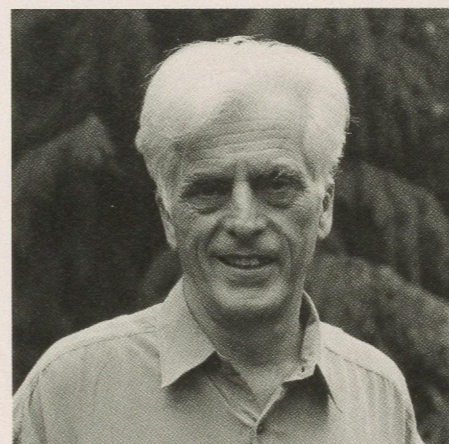
To establish and diffuse this concept of "eco-technology" which aims at the harmony of "ecology" and "technology," the HONDA FOUNDATION established the Honda Prize in 1980.

This prize is awarded annually to an individual or an organization, irrespective of nationality, for a distinguished contribution in the field of "eco-technology." The prize includes a donation of ¥10,000,000.



オットー氏の受賞は、氏が自然の調和と均衡を備えた、生態的構造・組織・造形について学際的見地より深く研究して、建築学の分野に新しい独創的な膜構造の手法を導入・開発するとともに、この新しい手法を用いて、美しく豊かな人間環境の観念に即した数々の優れた建築作品を残したことによるものです。

In the field of architecture, Professor Otto has introduced and developed a new creative method of the membrane structure based upon his profound interdisciplinary study into ecological structure, organization and models imbued with a harmony and natural balance. Further, he has presented many outstanding works of architecture, which have been built utilizing such new methods and which reflect his concept of a beautiful and rich human environment.



略歴

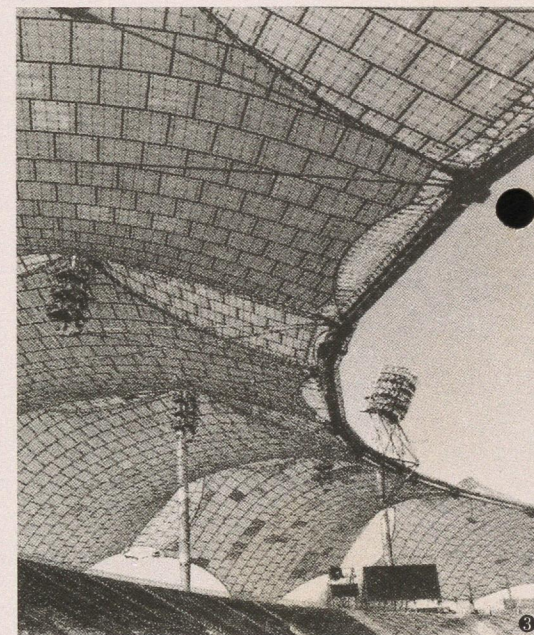
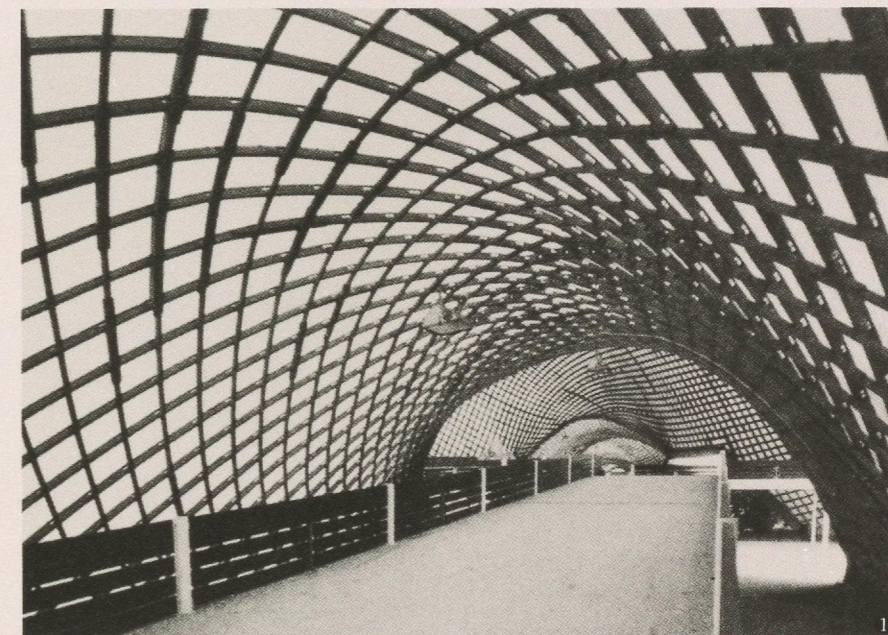
- 1925 ドイツ、ザクセン州ジークマル生まれ
- 1950~1951 ヴァージニア大学で社会学、都市計画を研究
- 1952 ベルリン「独立建築士」の称号取得
- 1962 カリフォルニア大学バークレー校及びハーバード大学客員教授
- 1964~ シュツツガルト大学軽量建築研究所教授兼所長
- 1969 アトリエ・ヴァルムブロン開設
- 1973 米国、ワシントン大学 芸術・建築学博士
- 1980 英国、バース大学 名誉科学博士

その他、モントリオール万博ドイツ館(1967)、ミュンヘンオリンピックの屋根(1971)を代表とし、庭園、幼稚園、教会、ホテル等、数多くの建築物を手掛け、各国より、数々の賞を受賞する。

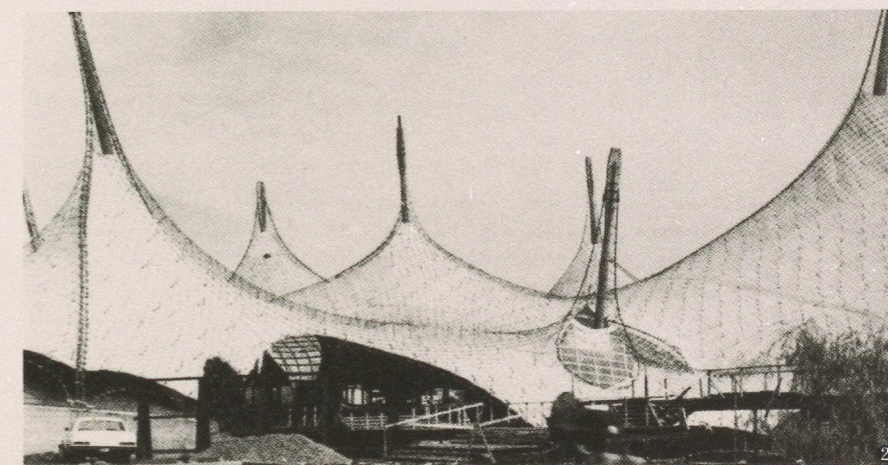
Personal History

- 1925 Born in Siegmarsdorf, Sachsen, Germany
- 1950-1951 Studied sociology and city planning at the University of Virginia
- 1952 Obtained the title "independent architect" from Berlin
- 1962 Became a visiting professor at the University of California, Berkeley and at Harvard University
- 1964 Served as professor and director at the Lightweight Plane Support Institute of Stuttgart University
- 1969 Founded Atelier Warmbronn
- 1973 Doctor of Art and Architecture from the University of Washington, U.S.A.
- 1980 Honorary Doctor of Science from Bath University, U.K.

In addition, Professor Otto has worked with numerous architectural styles including gardens, kindergartens, churches and hotels as well as the German Pavilion in the Montreal Expo of 1967 and the Roof of the Munich Olympic Games in 1971, receiving various awards from many countries.



「ARCUS10」より転載



- ① 本造シュールの多目的ホール(マンハイム) — 1975
- ② モントリオール万博、ドイツ館 — 1967
- ③ ミュンヘンオリンピックスタジアム — 1972
- ④ Multi-Hall Mannheim — 1975
- ⑤ the German Pavilion at the Montreal EXPO — 1967
- ⑥ the Munich Olympics Stadium — 1972

建築に新しい膜構造の領域を開拓し、天才的能力によって、新技術の思想的、理論構築をおこない、開発を成功に導いた。

これはまた自然の調和と均衡をもったエコロジカルな組織、構造、造型に学んだもので独創的膜構造を、生物学、生態学、社会学など学際的協力のもとにひらいたものである。

その結果、建築の無駄を極小化し、軽量による組立・解体・運搬および、繰返し利用に道をき、資源の有効利用、省資源という現代建築の課題をよく解決した。

そして建築から都市へ、屋外からインテリア、テンポラリーからパーマネントまで、膜構造の適用範囲を、著しく拡大し、多数の名作を世界各地に実現している。

現代ドイツを代表する、もっとも未来を予感させる世界的、指導的科学家であり、芸術家であり、建築家である。

膜構造の建築は、フライ・オットー教授によって、単なるテクノロジーの成果をこえて正に環境にとってのエコ・テクノロジーの確立と、その実現を、美しく豊かに、やさしく達成したもので、本田賞にふさわしく、かつ文化性の高い業績として推薦する。

Prof. Frei Otto has explored the new realm of architecture called membrane structure, and has led its successful development by skillfully performing the philosophical and logical structuring of this new technology through his gifted talents.

He has learned from ecological organizations, structures and models that are in harmony and equilibrium with nature, developing his unique membrane structure through interdisciplinary cooperation between biology, ecology and sociology.

As a result, he has been able to minimize waste in architecture and has opened the way for assembly, dismantling, transportation and repeated use by reducing weight, thereby providing an excellent solution to the task of modern architecture which was effective utilization and conservation of resources.

He has then remarkably expanded the range of application of membrane structure from an architecture to a city, from exterior to interior and from temporary to permanent and has realized numerous master pieces in various places of the world.

Prof. Frei Otto is a leading scientist, artist and architect of the world who represents contemporary Germany and provides us with an image of the future more than any other individual.

Prof. Frei Otto has taken architecture with membrane structure beyond a mere technological result and has accomplished the establishment and realization of a true eco-technology for the environment in a rich and gentle manner. Therefore, I recommend Prof. Frei Otto as being worthy of the Honda Prize for his culturally-oriented accomplishment.

1980

グナー・ハンベリユース(スウェーデン)  
スウェーデン王立理工学アカデミー会長  
Gunnar Hambraeus  
(Chairman, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences)

1981

ハロルド・チェスナット(アメリカ)  
SWIIS財団  
Harold Chestnut  
(SWIIS Foundation, Inc.)

1982

ジョン・F・コールズ(イギリス)  
ケンブリッジ大学名誉教授  
John F. Coales  
(Professor Emeritus, University of Cambridge)

1983

イリヤ・プリゴジン(ベルギー)  
ブリュッセル自由大学教授  
Ilya Prigogine  
(Professor, Free University of Brussels)

1984

ウンベルト・コロombo(イタリア)  
イタリア国立エネルギー研究機関総裁  
Umberto Colombo  
(Chairman, The Italian National Commission for Nuclear and Alternative Energy Sources)

1985

カール・E・セーガン(アメリカ)  
コーネル大学教授  
Carl E. Sagan  
(Professor, Cornell University)

1986

西澤潤一(日本)  
東北大学教授  
Jun-ichi Nishizawa  
(Professor, Tohoku University)

1987

ジャン・ドーセ(フランス)  
コレージュ・ド・フランス教授  
Jean Dausset  
(Professor, Collège de France)

1988

パオロ・マリア・ファゼラ氏(イタリア)  
欧州共同体(EC)委員会  
Paolo Maria Fasella  
(Professor, Commission of the European Communities)

1989

ロトフィ・A・ザデー(アメリカ)  
カリフォルニア大学バークレー校教授  
Lotfi Asker Zadeh  
(Professor, University of California, Berkeley)

*M. S. Sumiatta*

**HONDA FOUNDATION**

財団法人 本田財団





設立者 本田宗一郎  
Founder Soichiro Honda

# Honda Foundation



## 設立趣意書

### Objective of the HONDA FOUNDATION

現代社会は、今世紀における急速な技術革新により、生産技術の改良、交通、運輸、通信手段の発達等により、高度の経済成長を維持し、飛躍的な繁栄を達成してきました。その繁栄は、さらに生活様式の変革、行動範囲の拡大など、人間生活におけるいくつかの革命の変革をもたらしました。

しかし、そのような技術革新と経済成長は、スピードが早まれば早まるほど、一方において、環境破壊や公害問題、都市の過密化、人口食糧問題、人種民族間の精神的ギャップの拡大など、深刻かつ複雑な問題を急速に派生させることになりました。

もちろん、これらの問題を解決するために、これまでも、いろいろ真剣な努力が続けられてきました。しかし、これらの問題の原因は、現代文明の諸要素を複雑に反映したものにはかならないため、これらの解決に当っては、従来とはまったく発想の次元を異にした、何らかの新しい接近方法を必要としています。

そのためには、個別の問題について性急な解決策を探るのではなく、国際的かつ学際的に広く英知と努力を結集して、現代文明の再評価を行い、その成果を真に人類の福祉と平和に役立たせ、より高度な社会を出現させる努力が必要です。

このような観点から広く内外の学者、研究者、専門家を含むあらゆる人々が現代文明の現状及び将来のあり方について自由に討議し、研究する場として、国際交流やシンポジウム、研究会の開催、研究・教育・普及その他の活動に対する褒賞及び助成、現代文明の成果を活用する調査研究等を行うことを目的とした財団法人本田財団を設立し、時代の要請に即応した事業活動を活発に展開し、もって人間性あふれる文明の創造に寄与しようとするものです。

Modern society has achieved greater prosperity than ever, thanks to sustained high economic growth which has been made possible through a rush of technological innovations in production, traffic, transportation, communications and other activities. We are experiencing revolutionary changes in our way of life, and in our changing life-style we have also expanded our horizons.

This achievement, made at a fast pace, has had negative effects too: environmental destruction, pollution, urban density, population explosion, food shortages, growing nationalism plus a number of other deep-rooted, complex issues.

Serious efforts have been made to resolve these problems. Each of them, however, is a kaleidoscopic reflection of different elements of modern civilization, and thus requires a completely new approach in the search for a resolution.

A makeshift resolution serves no purpose. Wisdom and effort must be pooled on an international level, and through an interdisciplinary approach to the analysis of modern civilization, the results can be used for the promotion of human welfare and happiness. In such a way must we strive to create a higher level of humane society.

In order to provide the opportunity for scholars, researchers and specialists from all walks of life, irrespective of nationality, to meet together and freely discuss the present state and the future of our civilization, the HONDA FOUNDATION sponsors international exchange, symposia and study groups, and offers prizes and awards for the promotion of research, education and other such activities, and also carries on its own study and research, making use of the achievements of modern civilization, the FOUNDATION was established with such objectives in mind, and by extending its own activities to fulfil the requirements of the modern age, it contributes towards the creation of a truly humane civilization.

A handwritten signature in black ink, reading "Takeso Shimoda". The signature is written in a cursive style with a checkmark to the left.

理事長 下田武三  
President Takeso Shimoda

# Honda Foundation

## 財団の活動——「エコ・テクノロジー」の提唱—— Advocacy of Milestones in the History of the HONDA FOUNDATION: "Eco-Technology"

人間尊重の文明を創造することは、今日、われわれ全人類にとっての大きな願望です。それは、現代に生きる多くの知識人、とりわけ科学技術に携わる人々の相互協力によって、はじめて可能になりうるものです。

本田財団は、この理念をもとに、ディスカバリーズ国際シンポジウムを開催してきました。第1回、1976年に東京で始まり、第9回、1987年のウィーンまで、世界各国の多くの学者や専門家が、自由に討議する場を提供してきました。

そして、これらの討議をもとに、当財団の設立趣旨である、「人間性あふれる文明の創造に寄与する」ためには、人間社会に真に役立つ技術を確認することが、最も重要であるとの認識に至り、第4回のストックホルムシンポジウムの際に、ディスカバリーズ宣言がなされ、今後の活動内容を示しました。

それは、当財団が、従来の効率と利益のみを追求する技術でなく、人間活動ととりまく環境全体との調和をはかった真の技術——新しい技術概念「エコ・テクノロジー」を提唱し、この概念を確認・普及させるために、次の3つの活動をすることと致しました。

### 1) ディスカバリーズ国際シンポジウムの開催

「エコ・テクノロジー」の観点に立ち、世界各国の学者・専門家による国際シンポジウムを開催します。

### 2) 本田賞の授与

「エコ・テクノロジー」の観点から顕著な業績をあげた個人またはグループに、国籍を問わず、年間1件贈呈するもので、副賞として1,000万円が贈られます。

### 3) 技術・文化を中心とした国際交流の推進

「エコ・テクノロジー」を確認・普及させ、国際的にお互いの技術・文化の理解を深めるため、適時にセミナー、研究会等を開催します。

The creation of a humane civilization is a great dream of mankind. It can be realized only through the joint efforts of modern-day intellectuals, particularly those engaged in technology.

The HONDA FOUNDATION, on this basis, has sponsored the DISCOVERIES Symposia. Starting with the 1st Symposium held in Tokyo in 1976 to the 9th Symposium held in Vienna in 1987, many scholars and specialists from all over the world have gathered and openly discussed various themes.

As a result of these symposia, there is a growing understanding that the development of technology that can truly contribute to human society is vital in the "Creation of a Humane Civilization," the objective of the HONDA FOUNDATION. Consequently, a DISCOVERIES declaration was issued on the final day of the 4th Symposium in Stockholm to announce future activities.

The declaration was based upon the objective of establishing a technology, in a true sense, that aims at harmony with the overall environment surrounding human activities rather than mere efficiency and profit. For the establishment and diffusion of this new concept of technology, "eco-technology," activities in the following three areas were proposed:

1. The DISCOVERIES International Symposia of scholars and specialists from all over the world for realization of "eco-technology" will be held.
2. A Honda Prize has been established, to be awarded annually an individual or an organization, irrespective of nationality, for a distinguished achievement in the field of "eco-technology." The prize includes the sum of ¥10,000,000.
3. International seminars and workshops will be held as needed to establish and diffuse the "eco-technology" and to deepen mutual understanding in the field of technology and culture.

\*ディスカバリーズ(DISCOVERIES):「発見」という英単語の複数形であると同時に“Definition and Identification Studies on Conveyance Of Values, Effects and Risks Inherent in Environmental Synthesis”(環境全体の中で人間活動に何か問題かを発見する)という意味の英文の頭文字を並べた造語でもある。

\*エコ・テクノロジー(Eco-Technology):エコロジ(Ecology:生態学)とテクノロジー(Technology:科学技術)とを組み合わせた造語。

\*The term "DISCOVERIES" is, besides being the plural form of the word "Discovery," a term formed by the initials of the words "Definition and Identification Studies on Conveyance Of Values, Effects and Risks Inherent in Environmental Synthesis."

# 本田財団のあゆみ

## HONDA FOUNDATION History

■昭和52年12月27日設立  
 ■Founded on December 27, 1977

1976年10月	第1回ディスカバリーズ国際シンポジウム(東京)	October, 1976	1st DISCOVERIES International Symposium in Tokyo
1977年5月 ~6月	ディスカバリーズ活動を広めるため、本田宗一郎氏、 欧州各国を訪問	May-June, 1977	Soichiro Honda tours Europe to promote the cause of DISCOVERIES
1977年11月	第2回ディスカバリーズ国際シンポジウム(ローマ)	November, 1977	2nd DISCOVERIES International Symposium in Rome
1978年10月	第3回ディスカバリーズ国際シンポジウム(パリ)	October, 1978	3rd DISCOVERIES International Symposium in Paris
1978年11月	第1回本田財団東京会議	November, 1978	1st HONDA FOUNDATION Tokyo Symposium
1979年8月	第4回ディスカバリーズ国際シンポジウム (ストックホルム)	August, 1979	4th DISCOVERIES International Symposium in Stockholm
1980年11月	1980年度本田賞授与式	November, 1980	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1980
	第2回本田財団東京会議		2nd HONDA FOUNDATION Tokyo Symposium
1981年11月	1981年度本田賞授与式	November, 1981	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1981
1982年5月	第5回ディスカバリーズ国際シンポジウム (オハイオ州コロンバス)	May, 1982	5th DISCOVERIES International Symposium in Columbus, Ohio
1982年11月	1982年度本田賞授与式	November, 1982	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1982
1983年4月	第6回ディスカバリーズ国際シンポジウム(ロンドン)	April, 1983	6th DISCOVERIES International Symposium in London
1983年9月	第1回本田・アニエリ両財団共催セミナー(トリノ)	September, 1983	1st Seminar Co-sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION in Torino
1983年11月	1983年度本田賞授与式	November, 1983	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1983
1983年12月	マレーシア国際シンポジウム(クアラルンプール)	December, 1983	Malaysia International Symposium in Kuala Lumpur
1984年5月	第2回本田・アニエリ両財団共催セミナー(東京)	May, 1984	2nd Seminar Co-sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION in Tokyo
1984年8月	第7回ディスカバリーズ国際シンポジウム (メルボルン)	August, 1984	7th DISCOVERIES International Symposium in Melbourne
1984年11月	1984年度本田賞授与式	November, 1984	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1984
1985年9月	第3回本田・アニエリ両財団共催セミナー(トリノ)	September, 1985	3rd Seminar Co-sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION in Torino
1985年10月	第8回ディスカバリーズ国際シンポジウム (ブリュッセル)	October, 1985	8th DISCOVERIES International Symposium in Brussels
1985年11月	1985年度本田賞授与式	November, 1985	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1985
1986年10月	第4回本田・アニエリ両財団共催セミナー(東京)	October, 1986	4th Seminar Co-sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION in Tokyo
1986年11月	1986年度本田賞授与式	November, 1986	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1986
	本田財団・中国社会科学院日本研究所共催セミナー (北京)		Seminar Sponsored by the HONDA FOUNDATION with the cooperation of the Institute of Japanese Studies of the Chinese Academy of Social Sciences in Beijing.
1987年7月	第9回ディスカバリーズ国際シンポジウム(ウィーン)	July, 1987	9th DISCOVERIES International Symposium in Vienna
1987年11月	1987年度本田賞授与式	November, 1987	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1987
1987年12月	本田財団・オーストラリア科学工学アカデミー共催 セミナー(東京)	December, 1987	Seminar sponsored by the HONDA FOUNDATION with the cooperation of Australian Academy of Technological Sciences and Engineering

# Honda Foundation

## 本田財団のあゆみ

### HONDA FOUNDATION History

1988年9月	第5回本田・アニェリ両財団共催セミナー（トリノ）	September, 1988	The 5th seminar co-sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION in Torino
1988年11月	1988年度本田賞授与式	November, 1988	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1988
1989年9月 ～10月	ユーロパリア89ジャパンの一環として科学技術シンポジウムを共催（ブラッセル、ツールーズ、ヴァレーゼ、ベルリン、リスボン）	September-October, 1989	Co-sponsored the symposiums of Science & Technology "Europalia 89 Japan". (Brussels, Toulous, Varese, Berlin, Lisbon)
1989年11月	1989年度本田賞授与式	November, 1989	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1989
1990年11月	1990年度本田賞授与式	November, 1990	Conferring Ceremony of the Honda Prize 1990

## 第1回ディスカバリーズ国際シンポジウム'76東京 The 1st DISCOVERIES International Symposium 1976 Tokyo



1976年10月、第1回シンポジウムは、東京で開催されました。テーマは「人間の知恵と交通」。狭義の「交通問題」の枠をこえ、現代社会にとって、また子孫にとって、交通とは何かについて、あらゆる専門分野から学際的・文明論的アプローチが試みられました。

このシンポジウムを契機に、国際的に「科学技術と人間社会の調和」のために広く英知を結集する、いわば「思考のオリンピック」といべきディスカバリーズ活動の精神が新たに認識されました。

The 1st Symposium was held in Tokyo, October, 1976. The theme was "An intelligent human approach to traffic problems". The theme was discussed from an interdisciplinary point of view by specialists representing a cross-section of academic fields. The meaning of "traffic" was explored as an integral part of our civilization, as well as its significance both for our society of the present day and for our posterity.

A new awareness emerged at the Symposium: Namely, that underlying the DISCOVERIES activities should be the concept of the Thinkers' Olympics. For the "Harmony of Scientific Technology and Human Society", wisdom should be pooled from all available sources.



## 第2回ディスカバリーズ国際シンポジウム'77ローマ The 2nd DISCOVERIES International Symposium 1977 Rome



1977年11月、ローマに舞台を移した第2回シンポジウムでは、「現代文明の巨大危機への認識と対応」について、熱心な討議が重ねられました。同時に、欧米、アジア、アフリカの15か国から集まった参加者のすべにより、次の2点が確認されました。

- 1) 現代社会が直面している人口、食糧、エネルギー資源、人的相互理解などの諸問題の解決に、ディスカバリーズ活動が指向している学際的アプローチが不可欠であること。
- 2) 新しい科学技術的アプローチ、とりわけコンピュータを基礎としたデータ分析の方法は、伝統的な、人間に関する諸科学と結合すべきであること。

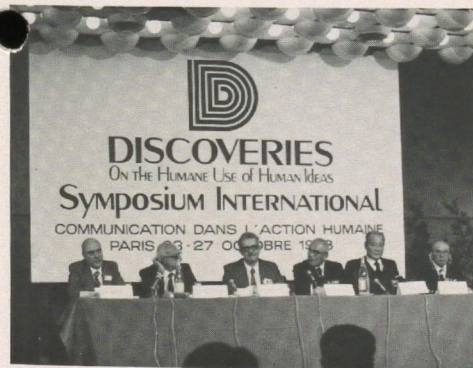
During the 2nd DISCOVERIES International Symposium, held in Rome in 1977, animated discussions took place on the theme of "Review to cope with megacrisis".

Through the participation of the representatives of 15 countries in Europe, the U.S.A., Asia and Africa who gathered at the Symposium, the following two conclusions were drawn:

- 1) The interdisciplinary approach adopted by DISCOVERIES is indispensable in resolving the various problems faced by modern society, such as population, food shortages, energy resources and mutual understanding.
- 2) New scientific approaches and in particular data analysis by computer, should be used together with traditional scientific methods related to mankind.



## 第3回ディスカバリーズ国際シンポジウム'78パリ The 3rd DISCOVERIES International Symposium 1978 Paris



1978年10月、パリで開かれた第3回ディスカバリーズ国際シンポジウムのメインテーマは「人間活動におけるコミュニケーション」、サブテーマは「コミュニケーションとは何か」「コミュニケーションの発達」「コミュニケーションその理解」「コミュニケーションと社会的、経済的現象」。

世界14か国51名の学者、技術者たちが国境を越え、自由活発に議論し合う様子は、パリのマスコミでも取りあげられ話題になりました。

The principal theme of the 3rd DISCOVERIES International Symposium, held in Paris in 1978, was "Communication in Human Activity." The sub-themes were "What is Communication?," "The Development of Communication," "Society and Communication," and "Communication and Socio-economic Phenomena."

A total of 51 scholars and technical experts representing 15 countries participated and their lively free discussions attracted the attention of the Paris media.

# Honda Foundation



## 第4回ディスカバリーズ国際シンポジウム'79ストックホルム The 4th DISCOVERIES International Symposium 1979 Stockholm



1979年8月、ストックホルムで開かれた第4回国際シンポジウムは、グスタフ・スウェーデン国王の開会宣言によって幕が開けられました。

「人間と情報社会——情報技術の役割」をメインテーマとし、世界12か国から科学者、政治学者、社会学者、哲学者など各分野の専門家39名が、「機械」「個人」「社会とコンピュータ」の3つのサブテーマで活発な討議を行いました。

また、最終日に本田財団の下田理事長が、「ディスカバリーズ宣言」を行い、当財団の今後の活動内容が示されました。

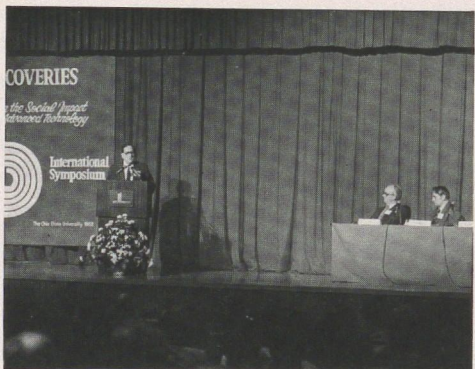
His majesty, the king of Sweden delivered the opening address at the 4th DISCOVERIES International Symposium in Stockholm in August, 1979.

With the main theme, "Man and Society—Automated for Information Processing," 39 specialists, in such fields as science, political science, sociology, and philosophy gathered from all over the world to discuss the three sub-themes: "Machines," "Individuals," and "Society and Computers."

On the final day of the Symposium, President Shimoda of the HONDA FOUNDATION proclaimed the "DISCOVERIES Declaration," in which the future activities were indicated.



## 第5回ディスカバリーズ国際シンポジウム'82オハイオ州コロンバス The 5th DISCOVERIES International Symposium 1982 Columbus, Ohio



1982年5月、オハイオ州コロンバス市での第5回シンポジウムでは、レーガン米大統領のメッセージをローズ・オハイオ州知事が読まれて開会されました。

「先端技術の社会的影響」をメインテーマとし、日米欧9か国から150名(うち討議参加者は52名)の学者・技術者が「コンピュータとコミュニケーション」「ロボットと生産の自動化」「先端技術と人間の健康」「先端技術の社会的影響」の4つをサブテーマとして活発な討議を行いました。

最も今日的な問題である先端技術が社会に与える影響と、人間が先端技術に使われるのではなく、人間が技術を駆使するには、何をなすべきかという大きな問題に挑戦した会議となりました。

The 5th DISCOVERIES International Symposium was opened in May 1983 with the presentation of a message from President Reagan by Governor Rose of the state of Ohio.

With the main theme, "The Social Impact of Advanced Technology," 150 scholars and technical experts (52 of them participated in the discussion) from Japan, the U.S., and 7 European countries gathered to openly discuss the four sub-themes, "Computers and Robots," "Robotics and Automated Production Controls," "Advanced Technology and Human Health," and "The Social Implications of Advanced Technology."

The Symposium was directed at the most current problem of the social effects of advanced technology and discussed what man should do not to be used by advanced technology but to have full control over it.



## 第6回ディスカバリーズ国際シンポジウム'83ロンドン The 6th DISCOVERIES International Symposium 1983 London



1983年4月、ロンドンで開かれた第6回国際シンポジウムは、エジンバラ公フィリップ殿下の開会の辞で始まりました。

「現代技術の社会的・文化的課題」をメインテーマとし、「西欧における現代技術」「北米における先端技術」「発展途上国における技術と文化」「東南アジアと日本における技術の社会的側面」をサブテーマに、講演および討議が行われました。参加者は、13か国から150名（うち討議参加者49名）、世界銀行副総裁クレスヒ氏、サウジアラビア石油相ヤマニ氏、フィアット社副会長アニュリ氏などの講演もあり、盛況なシンポジウムとなりました。

Prince PHILIP, Duke of EDINBURGH, delivered the opening address at the 6th DISCOVERIES International Symposium in London in April, 1983.

With the main theme, "Social and Cultural Challenge of Modern Technology," lectures and discussions were held on the sub-themes, "Modern Technology in the Context of Western Europe," "Advanced Technology in North America," "Technology and Cultures in Developing Countries," and "Social Aspects of Technology in Southeast Asia and Japan." The Symposium ended successfully with 150 participants (49 of them participated in the discussion) from 13 different countries, including Dr. Moeen Qureshi, Senior Vice-President Finance, World Bank, Sheikh Yamani, Minister of Petroleum and Mineral Resources, Saudi Arabia, Dr. Umberto Agnelli, Vice-Chairman, FIAT, etc.



## 第7回ディスカバリーズ国際シンポジウム'84メルボルン The 7th DISCOVERIES International Symposium 1984 Melbourne



1984年8月、メルボルンで開かれた第7回国際シンポジウムは、マレー州総督の開会の辞で始まりました。

「人類に役立つ資源と技術」をメインテーマとし、世界12か国から学者、技術者など各分野の専門家41名が「学界・産業・政府の役割」「西太平洋諸国間の技術に関する競合・相互補完・相互協力」「発展途上国の技術的・文化的ニーズと義務」「先進国、特に欧州・アメリカ・日本」をサブテーマに講演および討議を行いました。発展途上国および先進国それぞれのなすべきことなどについて活発な討議が行われ、初めて日欧米を離れて開催された成果が見られた会議となりました。

The 7th DISCOVERIES International Symposium, held in Melbourne in August 1984, began with the opening address by Mr. Murray, Governor of Victoria.

The main theme for the Symposium was "The Use of Resources and Technology in the Interest of Mankind." 41 specialists of each field, including academicians and engineers from 12 countries, lectured on and discussed the sub-themes of: "The Roles of Academia, Industry and Government," "The West Pacific Technological Competition, Complementation and Cooperation," "Technological and Cultural Needs and Obligations of the Less Developed Countries" and "Highly Developed Countries especially Europe the Americas and Japan." Active discussions were held on what should be done by the developed and developing countries. The significance of the Symposium being held for the first time in a country other than the U.S., Europe or Japan was reflected in its results.

# Honda Foundation



## 第8回ディスカバリーズ国際シンポジウム'85ブリュッセル The 8th DISCOVERIES International Symposium 1985 Brussels



1985年10月、ブリュッセルで開かれた第8回国際シンポジウムは、ブリュッセル自由大学I.プリゴジン教授を委員長に、王立科学アカデミーで開催されました。

「自然と人間活動の諸法則」をメインテーマとし、世界20か国から94名が参加し、第3の波のアルヴィン・トフラー氏、小児マヒ・ワクチンのソーク博士などによる王宮でのボードワン国王への御前講演も含め、先端技術にかかわる学際的な課題や、来たるべき文明新時代における「文化と技術」についてさまざまな発表がなされ、活発な学術的討議が行われました。

The 8th DISCOVERIES International Symposium was held at the Royal Academy of Belgium in Brussels, Belgium, in October 1985 under the chairmanship of Professor I. Prigogine of Free University of Brussels.

Ninety-four people from 20 countries around the world participated in the symposium under the main theme of "Laws of Nature and Human Conduct." A variety of presentations were given on "culture and technology" for the forthcoming new era of civilization as well as interdisciplinary challenge of advanced technology, followed by lively academic discussion.

Mr. Alvin Toffler, author of "The Third Wave," and Dr. J. Salk, celebrated for his work on polio vaccine, also lectured before the King Baudouin at the palace.



## 第9回ディスカバリーズ国際シンポジウム'87ウィーン The 9th DISCOVERIES International Symposium 1987 Vienna



1987年7月、ウィーンで開かれた第9回国際シンポジウムは、「多様化時代の人間環境」をメインテーマとし、ホーフブルク宮殿国際会議場に於いて、世界13カ国52名の討議参加者が、技術的・経済的活動の拡大に伴い、ますます複雑化している文化と、その一面面である技術が、人間社会と自然環境の間にどのような相互作用を引き起こすかについて、技術/産業活動、社会機構および環境政策等の視点から幅広い討議を行いました。

The 9th International Symposium was held at the international conference hall of Hofburg Palace in Vienna in July 1987 under the main theme of "Complexities of the Human Environment." 52 people from 13 countries participated in the symposium to hold wide-ranging discussions on what types of interactions will be generated between human society and the natural environment due to the influence of culture, which has become increasingly complex accompanying the expansion of technical/economic activities, and the culture's facet-technology. The participants exchanged their opinions from the viewpoints of technical/industrial activities, environmental policies and social organizations.

## 第1回本田財団東京会議'78 The 1st HONDA FOUNDATION Tokyo Symposium 1978



1976年、東京で開催されたディスカバリーズ国際シンポジウムは、その後、ローマ、パリへと引き継がれ、広く世界の関心を呼びました。

1978年11月には、日本の人々への理解を深めようと、ディスカバリーズ国際シンポジウム東京報告会「文化と技術のコミュニケーション」が開かれました。E.カイアニエロ・イタリアサレルノ大学副学長、J.C.シモン・パリ第6大学教授などを招き、脱工業化社会論、コミュニケーション論などをめぐり活発な論議が展開されました。

The DISCOVERIES International Symposium first held in Tokyo in 1976 was followed by one in Rome, and then in Paris, and drew international attention.

In November 1978, a Tokyo Meeting for the DISCOVERIES International Symposia was held on the theme, "Communication of Culture and Technology," with the purpose of deepening the understanding of the Japanese people. Professor E. Caianiello, Vice-President of Salerno University, Italy, and Professor J.C. Shimon of the Paris VI University were among those invited to participate in the lively discussions on the social theory of de-industrialization, communication theory, etc.

## 第2回本田財団東京会議'80 The 2nd HONDA FOUNDATION Tokyo Symposium 1980



1980年11月、第2回東京会議は、現代の技術文明が直面している問題を解決するための新しい技術概念「エコ・テクノロジー」を確立し、世界に向けて発信するため、「エコ・テクノロジーの提唱——技術と文化の対話——」をメインテーマとして開催されました。

サブテーマ「エコ・テクノロジーの課題」では、この概念を提唱するに至った説明と問題提起を、「人間の文明とエコ・テクノロジー」では "each technology for each culture" という細かい考え方が必要と、「日本型技術開発とエコ・テクノロジー」では産業界の方々が、日本の社会が持っている特質を技術開発にうまく適合させた事例を説明し、この日本における技術概念を確立するための討議が繰り広げられました。

In November 1980, the 2nd HONDA FOUNDATION Tokyo Symposium was held with the main theme, "Eco-Technology — Communication of Technology and Culture," for the purpose of establishing and diffusing of "eco-technology" to resolve the problems of modern technological civilization.

In order to establish the Japanese concept of technology, discussions were held on the sub-themes: the "Challenges in Establishing Eco-Technology," (the background of this new concept was explained, and problems were brought up); "Civilization and Eco-Technology," (the necessity of the concept of "each technology for each culture" was pointed out); and the "Japanese Concept of Technological Development and Eco-Technology," (successful cases of applying characteristics, peculiar to Japanese society, to technological development).

# Honda Foundation

## 本田・アネリ両財団共催セミナー

Seminar Co-Sponsored by the HONDA FOUNDATION and AGNELLI FOUNDATION



アネリ財団の所在地イタリアのトリノと、東京を相互に開催地として過去5回、日本とイタリア、日本と欧州との今日的課題をテーマに二国間セミナーを開催しました。

1983年9月(トリノ)

「技術と社会変革—日伊の比較」

1984年5月(東京)

「FUTURAMA—インダストリアル・クリエイティビティー日本とイタリア」

1985年9月(トリノ)

「自動化技術の社会経済的影響」

1986年10月(東京)

「ヨーロッパの科学技術と国際協力の見通し」

1988年9月(トリノ)

「EC統合問題」

Alternately in Tokyo and in Torino, Italy where the Agnelli Foundation is located, a two countries seminar has been held under the contemporary subject between not only Japan and Italy also Japan and Europe.

September 1983 (Torino)

“Technology and Social Changes -Comparison of Japan and Italy”

May 1984 (Tokyo)

“FUTURAMA- Industrial Creativity - Japan and Italy”

September 1985 (Torino)

“Automation Technology and Socio-Economic Consequences”

October 1986 (Tokyo)

“Perspective on the European Technology and International Cooperation”

September 1988 (Torino)

“EC unification in 1992”

## ●●●日本 EUROPALIA 89 科学・技術シンポジウム JAPAN IN BELGIUM Science and Technology Symposium



ベルギーのブラッセルを中心に1989年秋、約3ヶ月にわたり開催された日本紹介の文化行事「ユーロパリア89ジャパン」の催事の一環として、ECのジョイント・リサーチ・センター他と共催で、科学技術に関する国際シンポジウムが開かれました。ベルギーをはじめ、フランス、イタリア、ドイツ、ポルトガルの各都市を巡り、それぞれのテーマで日本学術会議会長の近藤次郎氏や理化学研究所理事長の小田稔氏、京都大学名誉教授の岡本道雄氏他、内外の幅広い専門家70名の講演者を得、活発な意見交換を通じて日欧の理解を深めることができました。

As one of the events in “Europalia Japan,” a cultural affair introducing Japan held mainly in Brussels, Belgium for 3-months in autumn, 1989, Honda Foundation co-sponsored a series of symposiums with EC, Joint Research Center, concerning Science and Technology. Visiting Brussels and several cities in France, Italy, Germany and Portugal, Dr. J. Kondo (President, Science Council of Japan), Dr. M. Oda (President, RIKEN), Prof. M. Okamoto (Professor Emeritus, Kyoto University) and other 70 interdisciplinary experts participated in symposiums and they exchanged their opinion to understand each other under the various themes.

## マレーシア国際シンポジウム Malaysia International Symposium



1983年12月、マレーシアのクアラルンプール市で開かれた国際シンポジウムは、マハティール首相の開会の辞で始まりました。「技術・文化・発展」をメインテーマとし、本田財団・国際交通安全学会（日本）・マラヤ大学（マレーシア）・フェブライオ'74（イタリア）の共催により、4か国40名の討議参加者が、現地に役立つ技術移転をめぐり、文化・社会・経済・交通・教育などの視点から10のセッションで講演と討議を行いました。

The International Symposium, held in Kuala Lumpur, Malaysia in December 1983 started with the opening address by Prime Minister Mahathir.

At this Symposium, co-sponsored by the Honda Foundation, the International Association of Traffic and Safety Sciences (Japan), the University of Malaya (Malaysia) and Centro di Ricerca e Documentazione Febbraio '74 (Italy), the main theme was "Technology, Culture and Development." During 10 sessions, 40 participants from four countries lectured on and discussed the issue of the transfer of technology in the interest of the recipients from cultural, social, economic, traffic and educational points of view.

## 本田財団・中国社会科学院 日本研究所共催セミナー Seminar Sponsored by the HONDA FOUNDATION with the cooperation of the Institute of Japanese Studies of the Chinese Academy of Social Sciences.



1986年11月、中華人民共和国北京市で中国社会科学院日本研究所との共催により開かれたセミナーは、人民大会堂を会場に「技術文明と近代化」をテーマとし、最新技術と日中間の協力について両国から200名が参加して活発な討議が行なわれ、相互理解を深め、友好関係を発展させました。

A seminar sponsored by the HONDA FOUNDATION with the cooperation of the Institute of Japanese Studies of the Chinese Academy of Social Sciences was held at the National People's Congress Hall in Beijing, the People's Republic of China in November 1986 under the theme of "Technological Civilization and Modernization." A total of 200 participants from the two countries were involved in active discussions on the state-of-the-art technologies and bilateral cooperation, resulting in the further promotion of mutual understanding and friendship.

## 本田財団・オーストラリア科学工学アカデミー共催セミナー Seminar sponsored by the HONDA FOUNDATION with the cooperation of Australian Academy of Technological Sciences and Engineering(A.T.S.)



1987年12月、東京でオーストラリア科学工学アカデミー(A.T.S.)並びに社団法人未踏科学技術協会と共催で「オーストラリア～日本 先端材料技術」をテーマに、2国間交流セミナーが開催されました。

70名の参加者を得て、日豪の新素材研究者による講演と、両国の技術向上をめぐり活発な意見交換が行なわれました。

In December 1987, a two countries seminar jointly organized by the Honda Foundation, A.T.S. and the Society of Non-traditional Technology was held in Tokyo under the theme of "Australia and Japan/Advanced material technology."

The seminar was ended successfully with 70 participants exchanging their opinions about the progress of the technology in both countries, following the lectures by Japanese and Australian scholars of advanced materials.

# Honda Foundation

## 本田賞受賞者 HONDA PRIZE Laureates



1980

グナー・ハンベリユース(スウェーデン)  
スウェーデン王立理工学アカデミー会長  
国内での指導的役割と各国工学アカ  
デミーとの交流に貢献。

Gunnar Hambræus  
(Chairman, Royal Swedish Academy  
of Engineering Sciences)

Professor Hambræus has been playing a leading role, for many years, in bringing about close coordination among the Swedish public, academic and industrial sectors in the field of engineering sciences as well as in enhancing international collaboration in the same field among academic organizations of the industrial countries.



1981

ハロルド・チェスナット(アメリカ)  
SWIIS財団  
システム工学に於ける貢献と、技術  
者の国際組織での指導的役割。

Harold Chestnut  
(SWIIS Foundation, Inc.)

Dr. Chestnut has made great contributions to the promotion of Systems Engineering Research, both in academic and industrial sectors, as well as his leading role played for long years in various international organizations of engineers.



1982

ジョン・F・コールズ(イギリス)  
ケンブリッジ大学名誉教授  
自動制御技術および開発途上国への  
技術移転に貢献し、技術者の国際組  
織で指導的役割。

John F. Coales  
(Professor Emeritus, University of  
Cambridge)

Professor Coales has made great contribution to the advancement of the theory and industrial application of Automatic Control Technology both in academic and industrial sectors, and the promotion of transfer of technology to developing countries. He has also played a leading role for long years in various international organizations of engineers.



1983

イリヤ・プリコジン(ベルギー)  
ブリュッセル自由大学教授  
化学・物理学分野での独創的な理論を  
実際面に応用し、環境問題に関する国  
際活動で指導的な役割。

Ilya Prigogine  
(Professor, Free University of Brus-  
sels)

Professor Prigogine has made a significant contribution to the establishment of the original theories in the field of chemistry and physics and their application to the practical aspects such as urban development and traffic problems. He has also played a leading role for long years in various international activities concerning the environmental problems.

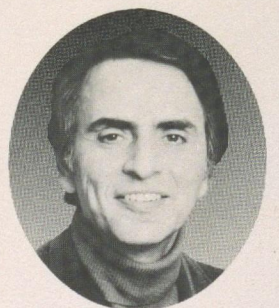


1984

ウンベルト・コロombo(イタリア)  
イタリア国立エネルギー研究機関総裁  
現代社会が直面している諸問題の解決  
に寄与され、科学技術を人類の実生活  
に活用することを実践。

Umberto Colombo  
(Chairman, The Italian National  
Commission for Nuclear and Alter-  
native Energy Sources)

Mr. Colombo has made a significant contribution to the solution of various problems facing modern societies; and also in recognition of his contribution to the transfer of scientific technology from academic boundaries to practical applications in people's everyday lives.



1985

カール・E・セーガン(アメリカ)  
コーネル大学教授  
技術開発の場となった宇宙が人類にと  
って身近な環境であることを明示され、  
地球をより宇宙的な視座で捉えること  
により、人類文明を新時代へと導く  
科学技術研究の理論的基礎を確立。

Carl E. Sagan  
(Professor, Cornell University)

Dr. Sagan has made a significant contribution toward ecotechnological exploration of space, as well as toward establishment of a theory of technological development for the new era of civilization, based on a more cosmic viewpoint.



1986

西澤潤一(日本)

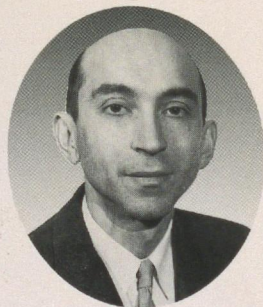
東北大学教授

半導体電子工学とその応用分野における基幹的理論を構築するとともに、その実践に多大の貢献をされ、技術を人間愛と社会の発展のために活用。

Jun-ichi Nishizawa

(Professor, Tohoku University)

Professor Nishizawa has made a significant contribution to the establishment of basic theories in semiconductor and electronics engineering as well as in their applied fields, and also, to putting such basic theories into practice. He utilized technology for the sake of humanity and the development of society.



1989

ロトフィ・A・ザデー(アメリカ)

カリフォルニア大学バークレー校教授

ファジー理論の提唱者として、その理論の発展のため国際的な諸活動を展開され、今後の情報化社会をより人間性のあふれるものへと導くために貢献。

Lotfi Asker Zadeh

(Professor, University of California, Berkeley)

As an advocate of Fuzzy Theory, Prof. Zadeh has been participating in activities around the world for the development of this theory, thereby contributing to leading the information oriented society of the future towards a more human direction.



1987

ジャン・ドーセ(フランス)

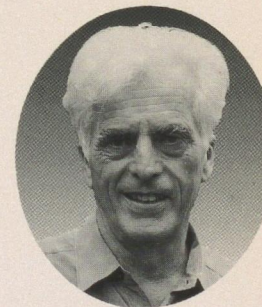
コレージュ・ド・フランス教授

科学技術がもたらす恩恵と弊害を明確にし、科学技術を人類と地球の将来のために活用する世界的な運動を展開。

Jean Dausset

(Professor, Collège de France)

Professor Dausset has promoted a worldwide movement called the "Universal Movement for Scientific Responsibility" as its leader in a bid to clarify the benefits and evils which may be brought by the advancement of science and technology so as to utilize science and technology for the future of mankind and the earth.



1990

フライ・オットー(ドイツ)

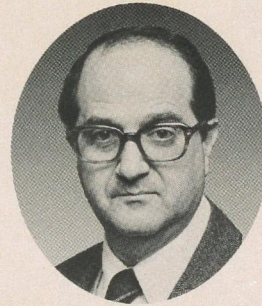
シュツツガルト大学教授

膜構造建築と呼ばれる軽量建築の概念を確立し、この新しい手法を用いて、美しく豊かな人間環境の観念に即した数々の優れた建築作品を残した。

Frei Otto

(Professor, University of Stuttgart)

Prof. Otto, who established the concept of lightweight architecture referred to as a membrane structure, has presented many outstanding works of architecture utilizing such new methods and which reflect his concept of a beautiful and rich human environment.



1988

パオロ・マリア・ファゼラ氏(イタリア)

欧州共同体(EC)委員会

生命科学とその応用分野における卓越した研究業績を基盤として、現代社会における人間と科学技術の調和ある発展のために、国際的な幅広い実践的諸活動を展開。

Paolo Maria Fasella

(Professor, Commission of the European Communities)

Professor Fasella has achieved an outstanding research work in the field of life science and its applied areas and, also, done the extensive international activities which contributed greatly towards harmonious development between man and science in this modern world.

# Honda Foundation

## 本田財団名簿

### ●名誉会員

エドアルド・カイアニエロ  
(サレルノ大学学部長)  
ジャン・クロード・シモン  
(ピエール&マリー・キュリー大学教授)  
エドワード・H・ジェニングス  
(オハイオ州立大学総長)  
ユールドコート子爵  
(フェロウシップオヴエンジニアリング会長)  
デーヴィッド・ザイドラー  
(オーストラリア・アカデミー・オヴ・テクノロジカル・サイエンス・アンド・エンジニアリング理事長)  
ジャック・ソルヴェイ  
(ソルヴェイ国際物理・化学研究所理事長)

### ●理事長

下田武三  
(常設仲裁裁判所裁判官)

### ●副理事長

川島廣守  
(社日本野球機構セントラル  
野球連盟会長)

### ●常務理事

佐々木俊夫

### ●理事

合田周平  
(電気通信大学教授)  
大河原良雄  
(社経済団体連合会 特別顧問)  
都倉栄二  
(社国際交流サービス協会会長)  
原田隆夫  
(本田技研工業株常任相談役)

### ●監事

柳瀬睦男  
(上智大学教授理工学部)  
山室英男  
(日本放送協会解説委員)  
●監事  
中瀬宏通  
(監中央新光監査法人代表社員)  
塚本正義  
(本田技研工業株監査役)

### ●顧問

上田太蔵  
岡村 昇  
(本田技研工業株常任相談役)  
杉浦英男  
(本田技研工業株常任相談役)  
西田通弘  
(本田技研工業株顧問)

### 法眼晋作

(国際協力事業団顧問)  
本田宗一郎  
(本田技研工業株最高顧問)

### ●評議員

浅利慶太  
(劇団四季主宰)  
渥美和彦  
(東京大学名誉教授)  
石井威望  
(東京大学教授工学部)  
江守一郎  
(成蹊大学名誉教授)  
菊竹清訓  
(建築家)  
木村尚三郎  
(東京大学教授教養学部)

### 高坂正堯

(京大大学教授法学部)

### 小島章伸

(株QUICK社長)

### 白根禮吉

(多摩大学教授)

### 高階秀爾

(東京大学教授文学部)

### 辻村 明

(東北女子大学学長)

### 寺野寿郎

(法政大学教授工学部)

### 中嶋嶺雄

(東京外国語大学教授外国語学部)

### 中村秀一郎

(多摩大学経営情報学部長)

### 古川俊之

(国立大阪病院長)

### 村上陽一郎

(東京大学教授先端科学技術センター)

### 森 政弘

(株自在研究所所長)

### 吉村 融

(埼玉大学教授大学院政策科学研究科)

### ●Honorary Fellows

Eduardo Caianiello  
(Dean, University of Salerno)  
Jean Claude Simon  
(Professor, Pierre et Marie Curie University)  
Edward H. Jennings  
(President, Ohio State University)  
Viscount Caldecote  
(President, The Fellowship of Engineering)  
David Zeidler  
(President, Australian Academy of Technological Sciences and Engineering)  
Jacques Solvay  
(President, The International(Solvay) Institutes of Physics and Chemistry)

### ●President

Takeso Shimoda

(Judge of the Permanent Court of Arbitration)

### ●Vice-President

Hiromori Kawashima

(President of Central League)

### ●Managing Director

Toshio Sasaki

### ●Directors

Shuhei Aida

(Professor, University of Electro-Communications)

Yoshio Okawara

(Executive Advisor, KEIDANREN/Japan Federation of Economic Organization)

Eiji Tokura

(Chairman, International Hospitality and Conference Service Association)

Takao Harata

(Advisor, Honda Motor Co., Ltd.)

Mutsuo Yanase

(Professor, Sophia University)

Hideo Yamamuro

(News Commentator, NHK)

### ●Auditors

Hiromichi Nakase

(Managing Partner, Chuo Shinko Audit Corporation)

Masayoshi Tsukamoto

(Statutory Auditor, Honda Motor Co., Ltd.)

### ●Advisors

Taizo Ueda

Noboru Okamura

(Advisor, Honda Motor Co., Ltd.)

Hideo Sugiura

(Advisor, Honda Motor Co., Ltd.)

Michihiro Nishida

(Advisor, Honda Motor Co., Ltd.)

Shinsaku Hogen

(Advisor to the President, Japan International Corporation Agency)

Soichiro Honda

(Supreme Advisor, Honda Motor Co., Ltd.)

Benjiro Honda

### ●Councillors

Keita Asari  
(President, Shiki Theatrical Company)  
Kazuhiko Atsumi  
(Professor, Emeritus University of Tokyo)  
Takemochi Ishii  
(Professor, University of Tokyo, Faculty of Technology)  
Ichiro Emori  
(Professor, Emeritus Seikei University, College of Technology)  
Kiyonori Kikutake  
(Architect)  
Shosaburo Kimura  
(Professor, University of Tokyo, College of General Education)  
Masataka Kosaka  
(Professor, University of Kyoto, Faculty of Law)  
Akinobu Kojima  
(President, QUICK Corp.)  
Reikichi Shirane  
(Professor, Tama Institute of Management & Information Sciences)  
Shuji Takashina  
(Professor, University of Tokyo, Faculty of Literature)  
Akira Tsujimura  
(President, Tohoku Women's College)  
Toshiro Terano  
(Professor, Hosei University, Faculty of Technology)  
Mineo Nakajima  
(Professor, Tokyo University of Foreign Studies, Faculty of Foreign Studies)  
Hideichiro Nakamura  
(Dean, Tama Institute of Management & Information Sciences)  
Toshiyuki Furukawa  
(President, Osaka National Hospital)  
Yoichiro Murakami  
(Professor, University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology)  
Masahiro Mori  
(General Director, MUKTA Institute)  
Toru Yoshimura  
(Professor, University of Saitama, Graduate School of Policy Science)



---

財団  
法人 本田財団

東京都中央区八重洲2-6-20(ホンダ八重洲ビル)  
〒104 電話03-274-5125, ファクシミリ03-274-5103

HONDA FOUNDATION

6-20, Yaesu 2-chome, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan  
Tel. 03-274-5125, Telefax 03-274-5103

---

本田財団レポートNo.62

## 「ファジー理論の誕生と進化」

カリフォルニア大学 バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー

財団法人 **本田財団**

フuzzy Logic

本田財団レポートNo.62

「ファジー理論の誕生と進化」

カリフォルニア大学 バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー

1942 東京大学工学部卒業
1946 東京大学工学部修士課程修了
1949 東京大学工学部博士課程修了
1953-1957 東京大学工学部助教授
1957-1958 東京大学工学部助教授
1958-1962 東京大学工学部助教授
1962-1968 東京大学工学部助教授
1968-1971 東京大学工学部助教授

Professor Lotfi A. Zadeh is awarded HONDA PRIZE together with all the privileges and honors pertaining thereto, recognizing that as an advocate of Fuzzy Theory which incorporates the vagueness of the human brain compared with computer systems, Prof. Zadeh has been participating in activities aimed at promoting the development of this theory thereby contributing to leading the information oriented world of the future towards a more human direction.

Biography and Photo
1921 Born
1942 Graduate School, The University of California, Berkeley
1946 Computer Science Center, University of California, Berkeley
1949 Completed a Ph.D. degree at Columbia University
1953-1957 Served as Associate Professor at Columbia University
1957-1959 Served as Professor at Columbia University
1959-1962 Served as Professor at Columbia University
1962-1968 Served as Professor at Columbia University
1968-1971 Served as Professor at Columbia University

newly defined fuzzy logic were...
some, contact with a mixed reaction. Some...
the late mathematician and the late mathematician...
the late mathematician and the late mathematician...

1962-1968 Served as Professor at Columbia University
1968-1971 Served as Professor at Columbia University
1971-1973 Served as Professor at Columbia University
1973-1975 Served as Professor at Columbia University
1975-1977 Served as Professor at Columbia University
1977-1979 Served as Professor at Columbia University
1979-1981 Served as Professor at Columbia University
1981-1983 Served as Professor at Columbia University
1983-1985 Served as Professor at Columbia University
1985-1987 Served as Professor at Columbia University
1987-1989 Served as Professor at Columbia University
1989-1991 Served as Professor at Columbia University
1991-1993 Served as Professor at Columbia University
1993-1995 Served as Professor at Columbia University
1995-1997 Served as Professor at Columbia University
1997-1999 Served as Professor at Columbia University
1999-2001 Served as Professor at Columbia University
2001-2003 Served as Professor at Columbia University
2003-2005 Served as Professor at Columbia University
2005-2007 Served as Professor at Columbia University
2007-2009 Served as Professor at Columbia University
2009-2011 Served as Professor at Columbia University
2011-2013 Served as Professor at Columbia University
2013-2015 Served as Professor at Columbia University
2015-2017 Served as Professor at Columbia University
2017-2019 Served as Professor at Columbia University
2019-2021 Served as Professor at Columbia University
2021-2023 Served as Professor at Columbia University
2023-2025 Served as Professor at Columbia University

### Professor Lotfi Asker Zadeh

is awarded HONDA PRIZE together with all the privileges and honours pertaining thereto, recognizing that as an advocate of Fuzzy Theory which incorporates the vagueness of the human brain compared with computer systems, Prof. Zadeh has been participating in activities around the world for the development of this theory, thereby contributing to leading the information oriented society of the future towards a more human direction.

### Biography and Positions

- 1921 Born in Baku, U.S.S.R.
- 1942 Graduated from the University of Teheran (electrical engineering)
- 1946 Completed a master's course at Massachusetts Institute of Technology
- 1949 Completed a doctor's a course at Columbia University
- 1953-1957 Served as Associate Professor at Columbia University
- 1957-1959 Served as Professor at Columbia University (electrical engineering)
- 1962 and 1968 Became a visiting professor at Massachusetts Institute of Technology (electrical engineering)
- 1959 to present Serving as professor at the University of California, Berkeley (electrical engineering)

Until 1965, Prof. Zadeh's work was centered on system theory and decision analysis. Since then, his research interests have shifted to theory of fuzzy sets and their application (artificial intelligence, linguistics, logic, expert systems, etc.). Prof. Zadeh was awarded honorary doctorates by the Paul-Sabatier University, France, and the State University of New York in recognition of his development of the theory of fuzzy sets.

At present, Prof. Zadeh is a fellow of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) and AAAS (American Association for the Advancement of Science), and also a member of the National Academy of Engineering.

ザデー氏の受賞は、人間の頭脳の持つ曖昧さをコンピューター・システムに取り入れるファジー理論の提唱者として、その理論の発展のため国際的な諸活動を展開され、今後の情報化社会をより人間性のあふれるものへと導くために貢献された功績によるものです。

### ●学歴および経歴

- 1921 ロシア、バクー生れ。
- 1942 テヘラン大学卒業 (電子工学)
- 1946 マサチューセッツ工科大学修士課程
- 1949 コロンビア大学博士課程
- 1953~1957 コロンビア大学 准教授
- 1957~1959 コロンビア大学 教授 (電子工学)
- 1962, 1968 マサチューセッツ工科大学 客員教授 (電子工学)
- 1959~ カリフォルニア大学バークレー校教授 (電子工学)

同氏の研究活動は、1965年以降それまでのシステム理論、決定分析を中心としたものから、ファジー理論とその応用 (人口頭脳、言語学、理論学、エキスパート・システムなど) へと移って来ている。また同氏は、ポール・サバティエ大学 (フランス) 並びにニューヨーク州立大学よりファジー理論の功績により名誉博士号を授与されている。

現在、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)、AAAS (American Association for the Advancement of Science) 及び National Academy of Engineering の会員となっている。

# The Birth and Evolution of Fuzzy Logic

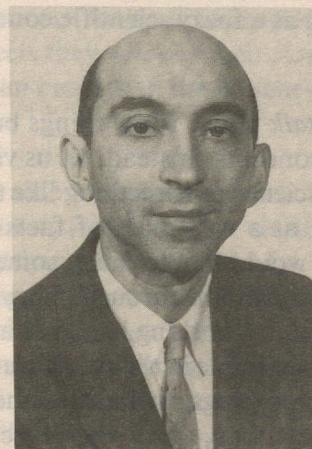
Professor Lotfi A. Zadeh  
University of California, Berkley

*Text of a lecture presented on the occasion of the award of the 1989 Honda Prize on 17 November, 1989*

I feel honored to have been chosen as the winner of the 1989 Honda Prize. To me this honor has a special significance. First, because it represents an important recognition of the validity of the ideas which were set forth by me more than two decades ago. And second, because these ideas have found a fertile soil in Japan—a country for which I have a deep admiration and affection. It gives me great pleasure to take this opportunity to pay my tribute to the brilliant Japanese scientists and engineers who have contributed fundamentally to the development of fuzzy logic and its applications and who have played such an important and enlightened role in the international community of fuzzy mathematicians, scientists and engineers.

Unlike traditional logical systems, fuzzy logic is aimed at providing a model for modes of reasoning which are approximate rather than exact. In this perspective, the importance of fuzzy logic derives from the fact that almost all of human reasoning—is approximate in nature.

The basic ideas underlying fuzzy logic were described in my first paper on fuzzy sets which was published in 1965. This paper and my subsequent papers on fuzzy sets drew a mixed reaction. Some academics and especially the late mathematicians Richard Bellman and Grigori Moisil, greeted my



ideas with enthusiasm. For the most part, however, what I encountered was skepticism and, on occasion, downright hostility. Today, twenty-five years later, the controversy surrounding fuzzy logic is still with us, though not to the same degree. The numerous applications of fuzzy logic, especially in Japan, are too visible to be denied. There are still some, however, who remain unconvinced that fuzzy logic has something important to offer. The Cartesian tradition of respect for what is quantitative and precise, and disdain for what is qualitative and imprecise is too deep-seated to be abandoned without a fight. The basic tenet of this tradition was stated succinctly by Lord Kelvin in 1883, "In physical science a first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and practicable methods for measuring some quality connected with it. I often say that when you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind: it may be the beginning of knowledge but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the state of *science*, whatever the matter may be."

In a similar vein, in commenting on a paper

of mine in 1972, Professor Richard Kalman wrote "I want to say only a few words about what happens to the application of algebra. As an example, I will use a notion of a fuzzy set mentioned by Prof. Zadeh. Let me say quite categorically that there is no such a thing as a fuzzy scientific concept, in my opinion."

"We do *talk* about fuzzy things but they are not scientific concepts. Instead, let us view the development of science as something like the following. You look at a vast mass of facts—fuzzy or not—and you would like to make some sense out of it. This is usually done through rising to a higher conceptual level, by working harder than the average person. Some people in the past have discovered certain interesting things, formulated their findings in a *non-fuzzy way*, and therefore we have progressed in science."

Despite the skepticism and hostility, there is, today, a rapidly growing international community of scientists and engineers who are actively engaged in the development of fuzzy logic and its applications. In the forefront of this activity are Japan, The People's Republic of China and the Soviet Union. In Japan, in particular, the ideas of fuzzy logic have found a wide acceptance, as is evidenced by the establishment of LIFE, the Laboratory of International Fuzzy Engineering, which is certain to become the world's premier center for research and development relating to fuzzy logic and its applications. One cannot but admire the work done in Japan and the foresight of a small group of eminent scientists who nurtured the field while it was still in its initial stages of development. I should like to pay my tribute to this group—a group which was led by the late Professor Kokichi Tanaka of Osaka University, and Professors T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, H. Tanaka, M. Mizumoto, M. Mukaidono and K. Hirota. I would like to do so, but time does not allow me to mention the names of outstanding scientists and engineers in Japan who are currently contributing so importantly to the development of fuzzy logic and its applications in a wide variety of fields ranging from train control and resource allocation to medical diagnosis and portfolio management.

What are basic ideas underlying fuzzy logic? What are its potentialities and limitations? These are some of the issues on which I should like to focus on in my lecture.

First, a bit of history. Although I am an elec-

trical engineer by training, I have always been a strong believer in the power of mathematics. To me, it was an article of faith that to almost any problem there is a mathematical solution. Like many other workers in systems analysis, information analysis and control, I was driven by a quest for precision, rigor and mathematical sophistication. There was no doubt in my mind that this was the right path to follow.

However, in the course of writing a book with Professor Charles Desoer on linear system theory, I began to realize that there are many concepts in system theory that do not lend themselves to precise definition. For example, one can give a precise definition of a linear system, a stable system, a time-invariant system, etc. But how can one define what is meant by a decentralized system, a slowly-varying system, a reliable system, etc.?

In trying to do so, I began to realize that the problem lay in the Aristotelian framework of classical mathematics—a framework which is intolerant of imprecision and partial truth. In essence, a basic assumption in classical mathematics is that a concept must admit of precise definition which partitions the class of all objects into two classes: (i) those objects which are instances of the concept; and (ii) those which are not, with no borderline cases allowed. For example, a function is either continuous or discontinuous; it cannot be continuous to a degree. Similarly, a matrix is either symmetric or not symmetric; it cannot be somewhat symmetric or more or less symmetric or symmetric to a degree. By the same token, a paper published in a mathematical journal is expected to contain precisely stated definitions, assumptions and theorems. Generally, a paper would not be acceptable for publication if its conclusions are stated as assertions which are not unequivocally true.

In sharp contrast to the idealized world of mathematics, our perception of the real world is pervaded by concepts which do not have sharply defined boundaries, e.g., *tall*, *fact*, *many*, *most*, *slowly*, *old*, *familiar*, *relevant*, *much larger than*, *kind*, etc. A key assumption in fuzzy logic is that the denotations of such concepts are *fuzzy sets*, that is, classes of objects in which the transition from membership to non-membership is gradual rather than abrupt. Thus, if  $A$  is a fuzzy set in a universe of discourse  $U$ , then every member of  $U$  has a grade of membership in  $A$  which is usually taken to be a number between 0 and 1, with 1 and 0 representing full membership and non-membership, respec-

tively. The function which associates with each object its grade of membership in  $A$  is called the *membership function* of  $A$ . This function defines  $A$  as a fuzzy subject of  $U$ .

It is important to observe that there is an intimate connection between fuzziness and complexity. Thus, a characteristic of the human brain, which it shares in varying degrees with all information processing systems, is its limited capacity to handle classes of high cardinality, that is, classes having a large number of members. Consequently, when we are presented with a class of very high cardinality, we tend to group its elements together into subclasses in such a way as to reduce the complexity of the information processing task involved. When a point is reached where the cardinality of the class of subclasses exceeds the information handling capacity of the human brain, the boundaries of the subclasses are forced to become imprecise and fuzziness becomes a manifestation of this imprecision. This is the reason why the limited vocabulary we have for the description of colors makes it necessary that the names of colors such as red, green blue, purple, etc., be, in effect, names of fuzzy rather than non-fuzzy sets. This is also why natural languages, which are much higher in level than programming languages, are fuzzy whereas programming languages are not.

Fuzziness, then, is a concomitant of complexity. This implies that as the complexity of a task, or of a system for performing that task, exceeds a certain threshold, the system must necessarily become fuzzy in nature. Thus, with the rapid increase in the complexity of the information processing tasks which the computers are called upon to perform, we are reaching a point where computers will have to be designed for processing of information in fuzzy form. In fact, it is the capability to manipulate fuzzy concepts that distinguished human intelligence from the machine intelligence of current generation computers. Without such capability we cannot build machines that can summarize written text, translate well from one natural language to another, or perform many other tasks that humans can do with ease because of their ability to manipulate fuzzy concepts.

It should be noted that the door to the development of fuzzy computers was opened in 1985 by the design of the first fuzzy logic chip by Togai and Watanabe at Bell Telephone Laboratories. The conception and design of a fuzzy computer is one of the basic research projects at LIFE, as well as

in Professor Yamakawa's laboratory at Kyushu Institute of Technology. Such a computer may well become a reality during the coming decade. It should be stressed, however, that fuzzy computers will employ both fuzzy hardware and fuzzy software to process fuzzy information. In this and other respects they will be much closer in structure to the human brain than the present-day computers are.

To be able to say more about fuzzy logic and its application, I will have to clarify some of the issues underlying the concept of a fuzzy set. For this purpose, let us consider a concept, say *kind person*, which does not admit of a precise definition in terms of a collection of necessary and sufficient conditions. Such a concept may be defined extensionally by associating with each individual who is a member of a universe of discussion  $U$ , his or her grade of membership in the fuzzy set of kind persons.

For example, the grade of membership of Robert might be 0.6, while that of Carol might be 0.9. These numbers would be elicited from an observer by asking the question "On the scale of from 0 to 1, to what degree is Carol kind? What is important to note is that the numbers in question are subjective in nature. In the case of Carol, for example, the number 0.9 would not be interpreted as a measure of consensus. That is, as the proportion of individuals who when asked if Carol is kind would respond in the affirmative; nor should 0.9 be interpreted as the probability or the belief that Carol is kind. In this connection, it should be noted that, in general, it is much easier for us to estimate numerical grades of membership than to estimate numerical probabilities.

In the case of a quantifiable concept, the membership function may be represented as a function of one or more measurable attributes. For example, in the case of a *young person*, the attribute in question would be *Age*. In this case, the universe of discourse may be taken to be the interval  $[0, 120]$ , and the grade of membership in the class of young people of a person who is, say, 85 years old might be 0.6.

Clearly, the concept *kind person* and *young person* are both context-dependent and subjective. Some concepts are more context-dependent than others. For example, *many* is more context-dependent than *several*, and *small* is more context-

dependent than *circular*. As will be seen at a later point, in the theory of fuzzy sets, context-dependence plays a key role in the concept of the so-called *linguistic variable*.

It should be noted that the grade of membership may be interpreted as the truth value of a predicate in multivalued logic. For example, the grade of membership of Carol in the class of kind persons may be equated to the truth value of the proposition "Carol is kind." However, the development of the theory of fuzzy sets and fuzzy logic has followed a path quite different from that of multivalued logic. As an illustration, in the context of the theory of fuzzy sets it is natural to ask the question "What is a convex fuzzy set, or what is meant by the convex hull of a fuzzy set?" This would not be a natural question in multivalued logic. In a more general setting, the theory of fuzzy sets has stimulated the development of a new branch of topology called *fuzzy topology*, which is a sophisticated mathematical theory in the classical tradition. The conceptual framework of fuzzy topology is related to that of the theory of fuzzy sets but not to multivalued logic.

So far as fuzzy logic is concerned, it may be viewed in two different perspectives: (a) as a branch of the theory of fuzzy sets; and (b) as a generalization of multivalued logic and, especially, as a generalization of Lukasiewicz's  $L^*$  logic. Regardless of the perspective in which it is viewed, fuzzy logic is substantially different in both spirit and detail from the traditional logical systems and provides a much more general framework for knowledge representation and inference.

Among the features of fuzzy logic which are not possessed by traditional logical systems are the following:

- (a) In fuzzy logic the truth values are allowed to be fuzzy sets labeled *true*, *quite true*, *very true*, *more or less true*, *mostly true*, etc. Thus, the truth value of a proposition such as "*The crime rate in Japan is very low*," may be *very true*, with *very true* representing a fuzzy subset of the unit interval.
- (b) Classical logical systems, including multivalued logic, allow the use of only two quantifiers, *for all* (universal quantifier) and *there exists* (existential quantifier). In fuzzy logic, the quantifiers such as *most*, *many*, *few*, *several*, *usually*, etc. are interpreted as fuzzy numbers

which serve to describe the absolute or relative cardinalities of fuzzy sets. The importance of this interpretation derives from the fact that, through the use of fuzzy arithmetic, fuzzy logic provides a computational framework for representing the meaning of propositions in a natural language which contain fuzzy quantifiers—as most propositions in a natural language do. This capability of fuzzy logic plays a particularly important role in the representation and inference from imprecise facts and rules in knowledge-based systems.

- (c) From the frequentist point of view, fuzzy quantifiers bear a close relation to fuzzy probabilities, e.g., *likely*, *not very likely*, *unlikely*, etc., which underlie much of the commonsense reasoning which we employ in our daily decision-making. Through the connection between fuzzy quantifiers and fuzzy probabilities, fuzzy logic provides a machinery for qualitative decision analysis in which fuzzy utilities are computed from fuzzy probabilities and fuzzy payoff functions. Once the fuzzy utilities are known, techniques for the ranking of fuzzy numbers may be employed to determine an optimal course of action.
- (d) The conventional approaches to meaning representation in natural languages are based for the most part on predicate logic and its variants. Such approaches do not address an important issue, namely the role played by hedges, e.g., *very*, *more or less*, *quite*, *somewhat*, *extremely*, etc. By contrast, fuzzy logic provides a mechanism for dealing with such hedges by interpreting them as operators which act on fuzzy predicates. For example, to a first approximation, the hedge *very* may be assumed to act as a squaring operator, meaning that the membership function of *very tall* is the square of the membership function of *tall*.

As a consequence of having the capability to deal with (a) fuzzy predicates, (b) fuzzy truth values; (c) fuzzy quantifiers; (d) fuzzy probabilities; and (e) hedges, fuzzy logic has a far greater expressive power than traditional logical systems. What this means is that if we were to pick at random a sentence in a book or a newspaper, it would be very unlikely that its meaning could be represented in first-order predicate logic, since a typical sentence in a natural language contains one or more words which are labels of fuzzy predicates. For example, in the sentence *It is very unlikely that there*

will be a significant increase in unemployment in the near future, very unlikely is a fuzzy probability, significant increase is a fuzzy predicate, and so is in the near future. The presence of these predicates presents an obstacle in the way of application of first-order predicate logic. By contrast, it is a simple matter to represent the meaning of propositions of this type in fuzzy logic by employing the techniques provided by so-called *test-score semantics*. In this semantics, the meaning of a proposition is expressed as a procedure which tests the elastic constraints induced by the fuzzy predicates and computes the degree of compatibility of a proposition with an explanatory database. Once the meaning of a proposition is expressed in this manner, the inference techniques of fuzzy logic may be employed to reduce to the solution of a mathematical program the problem of deduction of an answer to a query.

By providing a body of computationally-oriented concepts and techniques for dealing with uncertainty and imprecision, fuzzy logic comes much closer to serving as a descriptive model of human reasoning than traditional logical systems. In this way, fuzzy logic opens the door to many applications which fall beyond the reach of conventional logic-based methods as well as the methods based on classical probability theory. I will not attempt to be more specific at this point by listing the many important applications of fuzzy logic which have been made over the past few years, especially in Japan. It will suffice to mention the highly successful subway system in the city of Sendai which started operating in July, 1987, and has received world-wide recognition. At this juncture, the number of applications of fuzzy logic is growing rapidly in number and variety, with the Japanese scientists and engineers, supported by the government and industry, playing a leading role in the development of a wide-ranging technological and scientific base for future applications.

Most of the applications of fuzzy logic involve three basic ideas which were put forth in my 1973 paper, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decisions Processes."

The first idea relates to the concept of a *linguistic variable*. A linguistic variable, as its name suggests, is a variable whose values are words or sentences in a natural or synthetic language. For example, if the variable *height* is treated as a linguistic variable, its values might be expressible as *tall, not tall, somewhat tall, very tall, not very tall,*

*very very tall, tall but not very tall, quite tall, more tall or less tall*. Thus, the values in question are sentences formed from the label *tall*, the negation *not*, the connectives *and* and *but*, and the hedges *very, somewhat, quite, and more or less*. The motivation for the use of linguistic variables rests on what might be called the *principle of minimum specificity*. The basic idea underlying this principle is that precision and hence specificity carry a coat and thus should not be used unnecessarily. For example, if I were asked "What is Mary's age?" normally I would not respond by saying *twenty three years and five months and five days* because such a degree of specificity would not serve a useful purpose. Typically, my response might be *young* or *very young*. If the specificity of these terms would be sufficient for the purpose. The guiding principle, then, is *do not be more specific than is necessary*. This is the essence of the principle of minimum specificity.

Viewed in this perspective, the basic idea behind the concept of a linguistic variable is that, although linguistic values are less specific than numerical values, they are in many instances sufficiently specific for the purpose on hand.

As a very simple illustration, suppose that we wish to describe in approximate terms the relation between two linguistic variables, *Age*, which can take the values *young, middle-aged, and Color-of-hair*, which can take the values *black, gray and white*. The relation in question may be expressed as three if-then rules:

*If Age is young then Color-of-hair is black.*  
*If Age is middle-aged then Color-of-hair is gray*  
*If Age is old then Color-of-hair is white*

Fuzzy if-then rules of this type were employed by Mamdani and Assilian in 1974 in their seminal work on the fuzzy control of a steam engine. In the intervening years, fuzzy logic control has been employed with considerable success in a wide variety of systems ranging from the Sendai subway to Sugeno's fuzzy car and Yamaichi's fund management system. We can expect the application of fuzzy logic control to be greatly accelerated by the availability of fuzzy logic chips which are currently in the initial stages of production and testing. These chips are the descendants of the fuzzy logic chips conceived by Togai and Watanabe in 1985.

The second basic idea is that of a *canonical form*. Basically, the concept of a canonical form

serves to express a proposition in a natural language as an elastic constraint on a variable. For example, in the case of the proposition *Mary is young*, the constrained variable is Mary's age, written as *Age(Mary)*, and the elastic constraint on the variable is defined by the fuzzy predicate *young*. In its canonical form, then, the proposition *Mary is young* would be expressed as *Age(Mary) is young*, which places in evidence that the meaning of the proposition in question may be represented as an elastic constraint, *young*, with the constrained variable being *Age(Mary)*. In this way, a collection of propositions may be expressed as a system of elastic constraints, and the deduction of an answer to a query reduces to the solution of a nonlinear program.

In addition to providing a system for representing the meaning of propositions in a natural language, the concept of a canonical form in combination with the concept of a linguistic variable serves to provide a basis for the representation of qualitative dependencies in systems such as economic systems and complex control systems, which are not sufficiently well defined to admit of analysis by conventional methods. As was alluded to already, many of the practical applications of fuzzy logic make use of a qualitative characterization of input-output relations in the form of fuzzy if-then rules in which the antecedent and consequent propositions are expressed in canonical form.

The third basic idea in fuzzy logic is that of *interpolative reasoning*. As its name suggests, interpolative reasoning is concerned with a mode of reasoning in which the available information is incomplete, so that an interpolation of the available data is required to arrive at an approximate answer to a query. A special case of interpolative reasoning is *analogical reasoning*, in which the concept of similarity plays a central role. In interpolative reasoning, a comparable role is played by the degree of match between fuzzy predicates.

As a simple illustration of interpolative reasoning, assume that we have two variables *X* and *Y* and we know that when *X is small Y is large*, and *Y is small* when *X is large*. The question is: What is the value of *Y* when *X is, say, medium*?

The inference rules of fuzzy logic provide a method for computing approximate answers to questions of this type. I cannot go into the technical details of the method in question, but it will suffice to observe that it plays a key role in fuzzy logic control, especially in industrial applications.

In such applications, as well as in the realm of expert systems, the importance of interpolative reasoning derives from the fact that the ability to interpolate greatly reduces the need for a large number of if-then rules in the knowledge-base. In this connection, it is of interest to observe that much of human reasoning is interpolative in nature, and that the ability to interpolate depends in an essential way on the remarkable human ability to manipulate fuzzy concepts without a conscious use of the underlying mathematical structure.

I should like to conclude my talk with an optimistic forecast. The past decade has witnessed a rapid growth in the industrial applications of fuzzy logic, especially in Japan. Most of these applications involve the replacement of a skilled human operator by a fuzzy rule-based system. The coming decade will witness a maturing of fuzzy logic and the development of fuzzy computers which will make it possible to replace not just skilled operators but, more importantly, experienced experts. We are beginning to see such applications in the realms of medicine, securities transactions and computer-aided design. And we are likely to see important applications involving a symbiosis of fuzzy logic and neural networks. This may well prove to be a highly promising direction for future research.

Finally, a word of caution. Although fuzzy logic has a much longer reach than traditional logical systems, it has its limitations. There are and will be many tasks which humans can perform with ease which lie beyond the capability of any computer, any machine and any logical systems that we can conceive of today. A simple example of such a task is that of summarizing a non-stereotypical story or a book. At this juncture, we cannot see even dimly the structure of a logic that could be used to perform tasks of this type.

## 「ファジー理論の誕生と進化」

1989年本田賞受賞者に選ばれて、大変光栄に存じます。私にとりましてこの賞は特別な意味を持っております。ひとつは、20年以上も前に私が打ち立てた理論の正当性が認められたということ、そしてもうひとつはその理論が日本という肥沃な土壌ではぐくまれたということです。私は日本を心から賞賛し、愛着の念を抱いております。ファジー（あいまい）理論の応用開発を底辺から支え、ファジー理論を研究する世界中の数学者、科学者そして技術者のなかで重要かつ啓蒙的な役割を果たしたのが、他ならぬ日本の科学者や技術者の方々です。この場をお借りしまして、そういった方々に感謝の意を表したいと思っております。

ところで従来の論理体系とは異なり、ファジー理論は正確というよりはむしろ正確に近い思考様式のモデルとなるべく開発されたものです。この意味からもファジー理論の重要性は、人間の思考——とくに常識思考——が本質的にあいまいであるという事実に基づいている点にあります。

ファジー理論の基本的な概念は、1965年に発表された私の最初の論文に記されています。ファジー理論に関するこの論文と、その後の研究報告に対する反応はさまざまでした。一部の学究的な人々、とくに数学者の故Richard Bellman氏と故Grigori Moutsil氏は、私の理論を絶賛してくれました。ところがほとんどの学者は懐疑的であり、ときとしてあからさまな敵意さえ示したものです。それから25年が経過したいま、ファジー理論については当時ほどではないにしても、いまだに議論が戦わされています。しかしすでにファジー理論は、とくに日本において数多くの分野で応用されており、この事実を無視することはできません。ファジー理論の重要性を相変わらず納得できない向きも見受けられます。（科学界には）数量的かつ正確なものを尊び、質的かつ不正確なものをいさぎよしとしないというデカルト派的伝統があまりにも深く根付いており、（ファジー理論は）これに真っ向から挑戦したかたちとなったわけです。このデカルト派的伝統の基本的理念は、1883年のKalvin卿の次の言葉に簡明に表されています。「自然科学の分野では、いかなる対象であろうともそれを学習するために踏まなくてはならない最初のステップは、その対象に付随する質を評価するための数値計算の原理と実践的手法を見いだすことにある。私が折に触れて言っていることであるが、自分が話している事柄を評価することができ、数字で表すことができれば、その人はその事柄を若干なりとも理解しているといえる。しかしそれを評価することができず、数字で表すこともできなければ、その人の知識は貧弱であり、不

満足なものというべきである。それが知識の始まりである場合もあろう。しかしその人の思考の中では、対象となる事柄がなんであれ、“科学”の域にまで達していることはほとんどないと思われる。」

これと同様の論点からRichard Kalman教授は、1972年に発表した私の論文に触れて次のように記しています。「代数の応用の今後について2～3点だけ指摘したいことがある。Zadeh教授のあいまい集合を例に取って説明してみたい。私に言わせれば、“あいまいな”科学疑念などというものは絶対に存在しない。

確かに我々は“あいまいな”物事について話をするにはあるが、それらは科学的な概念ではない。それよりも科学の発達を以下のように考えてみたい。たとえば巨大な数の事実——あいまいな事実、または正確な事実——に直面し、その意味を理解したいと思ったとする。この努力はふつう、より高度な概念レベルに到達することによってなされる。つまり平均以上の努力が必要なのである。かつて、興味深い物事を発見した人々は、その発見を“あいまいではない方法”で公式化した。だからこそ科学が進歩したのである。」

ファジー理論に懐疑的であったり、敵意を示す人々があるにもかかわらず、今日ではファジー理論とその応用方法の開発に積極的に従事する科学者や技術者の輪が国際的に急速に広まっています。その最前線に位置しているのが日本、中華人民共和国そしてソ連です。とくに日本ではファジー理論の概念は幅広く受け入れられ、それはLIFE（国際ファジー工学研究所）が設立されたことから伺えます。この研究所が、ファジー理論とその応用方法に関する世界の研究開発の中心となることは必至です。日本における（ファジー理論の）研究成果、そしてこの理論が開発初期の段階にあった頃から研究開発の現場を支えてこられた少数の著名な科学者の努力には頭が下がる思いがいたします。大阪大学の故田中教授、寺野教授、浅井教授、菅野教授、田中教授、水本教授、向殿教授そして広田教授をはじめとするそれら科学者の皆さんに、ここで改めて敬意を表したいと存じます。現在も電車の制御、資源配分、医療診断、ポートフォリオ管理をはじめとする実にさまざまな分野で、日本の優秀な科学者や技術者の方々がファジー理論とその応用方法の研究開発に多大な貢献をしておられます。本来ならばひとりずつお名前をあげてご紹介すべきですが、時間の関係上割愛させていただきます。

ではファジー理論の基本概念とは何でしょうか。その可能性と限度はどこにあるのでしょうか。これらは、この講演で私が重点的に触れてみたいと思っている問題です。

まず、経歴を簡単に振り返ってみたいと思います。私は電気工学技師としての訓練を受けましたが、数学の力を常に強く信じてまいりました。ほとんどあらゆる問題に対して数学的な解決法があるというのが、私の信念でした。システム分析、情報分析および情報管理に携わる他の労働者と同様に、私も正確さ、厳密さ、そして数学的洗練度の追求に駆られたのです。私はそれが正しい道だと信じて疑いませんでした。

しかし直線システム理論に関する本をCharles Desoer教授と共同執筆する過程で、システム理論の中には正確な定義づけができない概念が多く存在することに気づき始めたのです。たとえば、リニアシステム、安定したシステム、時間の経過に関わらず不変であるシステムなどについては正確に定義することができます。しかし地方分散化されたシステム、徐々に変化するシステム、信頼しうるシステムなどはどう定義したらよいのでしょうか。

その定義を試みるうちに、アリストテレスに由来する古典的な数学の枠組み、つまり不正確さや部分的な正確さを忍容しない枠組みに問題があるのだということに気づき始めたのです。本質的に古典数学の基本的な仮定条件とは、概念はすべての対象を2つの種類——(1)概念の事例としての対象、(2)概念の事例ではない対象——に分類し、しかも両者の中間に位置するものを許容しない正確な定義を認めなければならないというものであります。たとえば関数は連続しているか、連続していないかのいずれかであり、ある程度まで連続しているということはありません。同様に、行列も対称行列か非対称行列かのどちらかしかなく、幾分対称的であるとか、だいたい対称的であるとか、ある程度まで対称的であるなどということはありません。その証拠に、数学誌に掲載される論文には定義、仮定および定理が正確に記されていることが期待されるのです。結論の部分で、決定的な真実ではない主張がみられる論文は一般に学界誌には掲載されないでしょう。

この理想化された数学の世界とはまったく対照的であるのが、私たちの現実世界に対する認識です。私たちの認識では、はっきりとした境界線のない概念、たとえば「高い」、「太っている」、「ほとんど」、「ゆっくり」、「古い」、「親しい」、「関連した」、「～よりはるかに大きい」、「親切である」などの概念が大多数を占めているのです。ファジー理論における重要な仮定条件は、それらの概念の外延が“あいまい集合”であるということ、つまり帰属関係から非帰属関係への移行が急激にではなく、段階的に進行する対象の集まりであるということです。したがって仮に「A」が論議域「U」における“あいまい集合”であるとすると、Uを構成する要素はすべてAにおいてなんらかの帰属関係を有することになります。この帰属関係の程度は一般に0から1までの数字で表され、0は完全な帰属関係を、そして1は非帰属関係を意味します。各対象のAにおける帰属関係の程度を表す関数を「メンバーシップ（帰属関係）関数A」と呼びます。この関数において、AはUのあいまい亜集合であると定義されます。

“あいまいさ”と“複雑さ”の間には強い関連性があるということを知ることが重要です。ですから人間の頭脳は濃度の高い集合、つまり多数の要素を含む集合を取り扱うには限界があり、このことは程度の差こそあれ、すべての情報処理システムに言えることです。したがって非常に濃度の高い集合を提示されますと、私たち人間は情報処理業務に伴う複雑さを軽減すべく、その集合に含まれる要素を亜集合に分類しようとしみます。しかし亜集合の濃度が人間の頭脳の情報

処理能力を超える所まで来ますと、亜集合の境界線が不正確になることは避けられず、“あいまいさ”がこの不正確さのしるしとなるわけです。たとえば色に関する人間の語彙は限られています。ですから「赤」「緑」「青」「紫」といった色の名称は実際には正確な名称というよりはむしろ、あいまいな名称として取り扱う必要があるのです。さらに自然言語とプログラミング言語についても、後者が正確な言語であるのに対し、前者は後者よりもはるかに高レベルであるにもかかわらず“あいまい”なのです。

あいまいさと複雑さとは相伴う関係にあります。このことはつまり、仕事の複雑さ、あるいはその仕事を行うシステムの複雑さがある一定の限界を超えると、システムは必然的にあいまいな性質を帯びるということを意味します。ですからコンピューターに委ねられている情報処理の複雑さが急激に増した場合には、あいまいな形式で情報処理を行なうようコンピューターの設計を変えなければならないのです。実際、人間の知能と現世代のコンピューターの知能との違いは、人間にはあいまいな概念を処理できる能力があるということに他なりません。このような能力のない機械には、書かれた文章を要約したり、ひとつの自然言語を他の言語に巧みに翻訳したり、その他にもあいまいな概念を処理できる能力があるために人間が容易にこなしている仕事を行うことはできません。

ところで1985年、米国の「ベル研究所」の戸貝氏と渡辺氏がファジー理論を応用して最初のコンピューター・チップを開発したことで、ファジー・コンピューターの開発の扉が開かれました。先ほどのLIFEでも基礎研究プロジェクトの環境としてファジー・コンピューターの開発設計に取り組み、九州工業大学の山川教授の研究室でも同様の研究が進められています。ファジー・コンピューターが実現する日もそう遠くはないかもしれません。しかしファジー・コンピューターを用いてあいまいな情報を処理するには、あいまいなハードウェアとあいまいなソフトウェアが必要です。この点からも、そして他にも理由はありますが、ファジー・コンピューターの構造は現在のコンピューターに比べて人間の脳にはるかに近いものとなるでしょう。

ファジー理論とその応用方法についてもう少し説明を続けたいと思いますが、その前にあいまい集合という概念の根底にある論点に触れてみたいと思います。たとえば「親切な人」という概念を例に取りますと、この概念を必要条件と十分条件の集合によって正確な定義をすることはできません。論議域「U」の要素である各人と、親切な人々のあいまい集合におけるその人の帰属関係とを関連づけることによって、この種の概念を外延的に定義することができるのです。

たとえば、ロバートの帰属関係の程度が0.8であり、キャロルが0.9であったとします。この2つの数字は、観察者に「0から1までの尺度で測ったとして、キャロルはどの程度親切か」という質問を投げかけることによって導き出されます。ここで重要なことは、答えの数字が主観的な性質を帯びているということです。たとえばキャロルの場合、0.9という値はコンセンサスの尺度ではなく、キャロ

ルが親切であるかどうかの確率でもなければ確信でもありません。0.9というのは、キャロルが親切であるかと尋ねられて「はい」と応える人々の割合なのです。ですから一般に、確率を予測するよりも、帰属関係の程度を予測することのほうがはるかに簡単であるということを上記しておきたいと思えます。

数量化できる概念の場合には、メンバーシップ関数は1つ以上の測定可能な属性で表されます。たとえば「若い人」という場合、問題の属性は年齢です。このとき論議域が0から120の間として、若者の集合における85歳の人の帰属関係は0.6となります。

明らかに「親切な人」や「若い人」という概念はどちらも文脈によって異なり、主観的でもあります。なかにはもっと文脈依存性の強い概念があります。たとえば「たくさん」や「小さい」というのは「いくつか」や「丸い」よりも文脈依存性が強いといえます。後ほど詳しくお話いたしますが、ファジー理論においてはこの文脈依存性がいわゆる「言語変数」という概念の中で重要な役割を果たすのです。

ところで帰属関係の程度を、多価論理における属性の真理値と解釈することができます。たとえば親切な人々の集合におけるキャロルの帰属関係の程度は、「キャロルは親切」という命題の真理値に等しいといえます。しかしながらあいまい集合理論およびファジー理論の開発は、多価論理のそれとはまったく異なった過程を経ているのです。その証拠に、あいまい集合理論においては「凸状のあいまい集合は何か。あるいは、あいまい集合の凸状の外皮は何を意味するのか」といった疑問を持つことが自然なのです。ところが多価論理においてはこれは自然な疑問であるとはいえないでしょう。もっとわかりやすく説明しますと、あいまい集合の理論が「あいまい幾何学」という幾何学の新派を生み出すきっかけとなったということです。あいまい幾何学は、古典的伝統の中の洗練された数学理論です。その概念上の枠組みは、多価論理ではなく、あいまい集合理論の枠組みと同類なのです。

ファジー理論に関しては、2通りの見方があります。ひとつはあいまい集合理論の支流として、そしてもうひとつは多価論理の通則、とくに Lukasiewicz の  $L$ -Aleph1 論理の通則としてみることができます。ファジー理論の見方はどうであれ、伝統的な論理体系とは精神においても詳細においても著しく異なり、知識を表示し、推論するためのより一般的な枠組みを提供するものであります。

ファジー理論には、伝統的な論理体系にはない次のような特徴があります。

(a) ファジー理論においては、「真実である」「確かに真実である」「きわめて真実である」「ある程度真実である」「ほとんど真実である」といった表現によって、真理値をあいまい集合にすることができます。たとえば「日本の犯罪率は非常に低い」という命題の真理値は「きわめて真実である」となるでしょう。この「きわめて真実である」というのは、単位間隔の“あいまい亜集合”を意味します。

- (b) 多価論理を含む古典的な論理体系では、「すべて（普遍的量記号）」と「存在する（実存量記号）」の2つの数量しか使用できません。しかしファジー理論では、「ほとんど」「たくさん」「すこし」「いくつか」「たいてい」などの量記号を“あいまい数”と解釈し、あいまい集合の絶対的なまたは相対的な濃度の記述に役立てています。この解釈がいかに重要であるかは、つぎの事実が物語っています。それは、ファジー理論ではあいまいな算術を用いることによって、命題の意味を自然言語で表現するための計算上の枠組みができていているということです。ただしそれには、自然言語による命題のほとんどがそうであるように、あいまいな数量が含まれています。ファジー理論のこの可能性は、知識に基づくシステムにおいて不正確な事実および規則を表現し、それを基に推論する場合にとくに重要な役割を果たします。
- (c) ごく一般的な見方をしますと、あいまいな量記号は“あいまいな確率”——「あり得る」「絶対にあり得ない」「あり得ない」など——と密接な関係にあります。このあいまいな確率こそ、私たちが日常の意思決定において利用しているものなのです。ファジー理論では、あいまいな量記号とあいまいな確率との関係を利用して、意思決定における質的な分析を行なうための機構が整っており、あいまいな確率およびあいまいな清算関数を基にあいまいな理論の功利性が算出されます。ファジー理論に関する知識が得られますと、あいまいな数字を分類する技術を用いて、どのような行動を取るのが最適であるかを決定することができます。
- (d) 自然言語を用いた従来の表現方法の大部分は、述語論理とその変数に基礎を置いています。しかしこの方法では重要な事項、たとえば「とても」「ある程度は」「まったく」「若干」「きわめて」といったヘッジが果たす役割を処理することはできません。これとは対照的にファジー理論には、あいまいな述語の上に機能する演算子としてそれらのヘッジを処理するメカニズムがあります。たとえば最もよい例が、「とても」というヘッジですが、これは平方積を求める演算子として機能するとみなすことができます。つまり、「非常に高い」という概念のメンバーシップ関数は、「高い」という概念のメンバーシップ関数の平方積だということです。
- ファジー理論には以上のように(a)あいまいな述語、(b)あいまいな真理値、(c)あいまいな量記号、(d) あいまいな確率、そして(e)ヘッジを処理する能力があることから、表現力において従来の論理体系よりもはるかにすぐれています。これは何を意味するかといいますと、仮に本または新聞の中の1節を無作為に抽出したとして、その文章の意味を古典的な述語論理で表現できる可能性はきわめて低いということです。なぜなら自然言語には、あいまいな述語に相当する単語が1つ以上含まれているからです。たとえば「近い将来、失業率が著しく上昇する可能性は非常に低い」という文章の中で、「可能性が非常に低い」というのはあいまいな確率であり、「著しく上昇する」というのは「近い将来」と同様にあいまい

な述語です。こういった述語の存在は、古典的な述語論理を適用する上で障害となります。しかし、この種の命題の意味をファジー理論で表現するのは実に簡単なのです。いわゆる「試験得点意味論(?)」を用いればよいのです。この意味論においてはある命題の意味は、あいまいな述語によってもたらされる古典的な制約を試し、その命題と説明的なデータベースとの適合性を計算するための手順として表現されます。このようにして命題の意味が表現されますと、ファジー理論の推論技術を駆使して、ある質問に対する答えを削除する問題を、数学プログラムによって解決することができます。

ファジー理論には、不確かさや不正確さを処理するための計算志向性概念および技術が備わっているため、伝統的論理体系よりもはるかに人間の思考の記述モデルに近いものとなっています。したがって、従来の論理的手法ならびに古典的な確率論的手法では不可能であった数多くの分野に応用することができるのです。ここ数年の間にとくに日本では、ファジー理論の重要な応用方法が次々と開発されてきました。ここではそれを逐一列挙することはいたしません。ひとつだけ1987年7月に仙台市でスタートした地下鉄制御システムが順調に機能し、全世界の注目を浴びていることを述べておきたいと思います。いまでも、ファジー理論を応用したシステムは数においても、種類においても急速に増加しております。そのなかで日本の科学者や技術者が先頭に立ち、政府および産業界の支援を受けながら、将来の応用システムの開発に向けて広範囲に及ぶ技術的・科学的基礎研究を続けていることはいうまでもありません。

ファジー理論の応用分野については、1973年に発表した論文「Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process (複雑なシステムおよび意思決定プロセスの新しい分析方法について)」にほとんど記されています。

最初のアイデアは「言語変数」の概念に関するものです。言語変数とはその名のごとく、その値が自然言語または合成言語で表された単語または文章である変数のことです。たとえば「高い」という変数を言語変数として処理しますと、その値は「高い」「高くない」「若干高い」「非常に高い」「さほど高くない」「ものすごく高い」「高いが非常に高いというほどではない」「きわめて高い」「～よりは高い」あるいは「～よりは高くない」のように表現することができます。ですから問題の値とは、「高い」という標識、「ではない」という否定、「そして」「しかし」などの接続詞、「とても」「若干」「きわめて」「～より」といったヘッジで形成される文章のことをいいます。言語変数を用いる動機は、「最小特異性の原理」といわれる原理に基づいています。この原理の基礎となる概念は、「正確さと特異性はコストを生む。したがって不必要に用いるべきではない」というものです。たとえば私が「メリーは何歳ですか」と尋ねられたとします。普通ならば「23歳と5カ月と5日」といった答え方はしないでしょ。なぜならこれほどまでに特異性を追求すると、かえって目的を達成し損ねるからです。この場合は、

目的達成に十分であると思われる「若い」とか「とても若い」というように答えるのが自然でしょう。ですから「不必要に特異性を追求するな」というのが基本原則であり、これが「最小特異性の原理」の真髄なのです。

このようにみてまいりますと、言語変数は特異性においては数値に劣るものの、その根底には「多くの場合、間近の目的を遂行するには十分特異的である」という基本概念が存在するといえましょう。

もうひとつの事例として、これも先ほどの例とよく似ておりますが、「年齢」という言語変数（若い、中年、高齢などの値）と「髪の色」という言語変数（黒、灰色、白などの値）の関係をあいまいな用語で表現しようとしたとしますと、次の3通りの仮定文が考えられます。

若ければ、髪の色は黒い。

中年であれば、髪の色は灰色である。

高齢であれば、髪の色は白い。

この種のあいまいな仮定文は1984年に、MamdaniとAssilianが蒸気機関車の“ファジー（あいまい）制御”に関する独創的な研究で用いたものです。あれから今日まで、ファジー理論による制御システムは、仙台市の地下鉄から菅野教授のファジー自動車、そして山一証券の土地管理システムに至るまで実にさまざまな分野で応用され、大成功を収めています。現在、生産および試験の初期の段階にある“ファジー理論チップ”が実用化されれば、ファジー理論による制御システムの応用に一段とはずみがつくでしょう。このチップは、1985年に戸貝氏と渡辺氏が考案したファジー理論チップの流れを汲んでいます。

2番目の基本的な考えは、「標準形」に関するものです。この標準形とは基本的に、変数に対する柔軟な制約として命題を捕らえ、それを自然言語で表現するという概念に基づいています。たとえば「メリーは若い」という命題があったとします。制約を加えられた変数はメリーの年齢であり（「年齢」または「メリー」で表す）、変数に対する柔軟な制約はあいまいな述語「若い」であります。したがってこの標準形においては、命題「メリーは若い」は「年齢（メリー）が若い」と表現されます。これは問題の命題の意味が、制約された変数「年齢（メリー）」を用いて柔軟な制約「若い」として表現されるという確証に基づいています。このように命題の集合は柔軟な制約の一体系として表すことができ、質問に対する答えの削除は非線形プログラムを用いて解決できます。

命題の意味を自然言語で表現するシステムを提供するばかりでなく、標準形の概念は言語変数の概念とともに、経済システムや複雑な制御システムなどにおける数量的依存状態を表現する土台として機能します。この数量的依存状態は、従来の方法では分析作業を可能にするほど十分には定義できないものです。すでに申し上げましたように、ファジー理論の実践応用の多くは、あいまいな仮定法で表現される入力・出力関係の数量的特徴を利用しています。あいまいな仮定法においては、推定的な命題および必然的な命題は標準形で表されます。

そしてファジー理論における3番目の基本的概念は「挿入思考」です。これは文字どおり、ある思考モードにおいて入手された情報が不完全であるために、質問に適切に答えるべく、なんらかのデータが挿入されるということです。挿入思考の特殊な例としては「類推思考」があります。これは類似した概念が中心的役割を果たす思考のことです。挿入思考においては、あいまいな述語が互いの適合性の度合によって相対的な役割を果たします。

挿入思考を簡単に例をあげて説明しますと、「X」と「Y」という2つの変数について「Xが小さいときにはYは大きく、Xが大きいときにはYが小さい」ということがわかっていたとします。問題は、Xが中くらいのときにはYの値はどうなるのかということです。

ファジー理論の推論法則を用いれば、この種の質問に対するあいまいな答えを算出することができます。技術的な詳細には触れませんが、この手法はファジー理論による制御システムにおいて重要な役割を果たすということだけ述べておきましょう。制御システムばかりでなくエキスパートシステムにおいても、挿入思考の重要性は、情報が挿入できることによって知識依存性システムにおける仮定法の大多数が不必要になるという点にあるのです。ちなみに人間の思考の大部分は挿入的な性質を持っています。そして情報を挿入する能力は、あいまいな概念に直面した場合にその根底にある数学的構造を意識せずに処理できるという、人間の驚くべき能力に必然的に裏づけられているのです。

では最後に、楽観的な予測を立てて私の講演を終わりにさせていただきたいと思います。この10年間、産業界におけるファジー理論の応用は急速な進歩を遂げ、とくに日本の業績には目を見張るものがあります。ほとんどの場合、ファジー理論は熟練技師に代わるシステムに応用されてきました。これからの10年間は、この理論の成熟とファジー・コンピューターの実現が期待できます。それによって熟練技師ばかりでなく、さらに重要なことは熟練した専門家に代わって仕事をこなすシステムが登場するでしょう。すでに医療、証券取引、コンピューター・デザインなどの分野でそういったシステムの応用が始まっています。また、ファジー理論とニューラルネットワークを利用した高度なシステムも開発されるでしょう。これは今後の研究活動の方向性として、非常に有望であるといえます。

最後に一言、ご忠告申し上げます。ファジー理論は従来の論理体系より大きな可能性を秘めているとはいえ、限界もあります。人間がこともなげにこなしている仕事のうち、現存するいかなるコンピューター、いかなる機械、そしていかなる論理体系をもってしても実行不可能なものはたくさんありますし、これからもそうでしょう。たとえば、“型にはまっていない”話や本の要約がそれです。この種の仕事をこなすための論理構造は、現時点ではまったく解明されていません。

本田財団レポート

No.1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.33	「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No.2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.34	「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No.3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.35	「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.36	「第3世代の建築」 俵菊竹清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.37	「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No.6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.38	「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.7	科学は進歩するのかわ化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.39	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.8	ヨーロッパから見た日本 NHK解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.40	日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.41	「人間と自然との新しい対話」 ブラッセル自由大学教授 イリヤ・ブリゴジン	昭59.2
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.42	「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.43	ベルギー 「フランドル行政府産業使節団」講演会	昭59.7
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.44	「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学教授 小菅敏夫	昭59.7
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.45	「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉ともこ	昭59.10
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.46	「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロombo	昭60.1
No.15	最近の国際情勢から NHK解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.47	「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 MIT大学教授 イシエル デ ソラ プール	昭55.5	No.48	「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.17	寿命 東京大学教授 吉川俊之	昭55.5	No.49	「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.50	「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶応義塾大学教授 森 敬	昭61.5
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.51	「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学教授 カール・セーガン	昭62.2
No.20	'80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.52	「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.21	技術と文化 IVA事務総長 グナー・ハンベリユス	昭55.12	No.53	「中国人とどのようにおつきあひすべきか」 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭62.2
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.54	「舞台の奥のヨーロッパと日本」 演出家 寺崎裕則	昭62.5
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.55	「日米関係の現状と展望」 経団連特別顧問 大河原良雄	昭62.5
No.24	中国の現状と将来 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.56	私の半導体研究 東北大学教授 西澤潤一	昭63.1
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.57	「生物学者の科学的責任」 コレージュ・ド・フランス名誉教授 ジャン・ドーセ	昭63.4
No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センターコンサルタント ハロイド チェスナット	昭57.1	No.58	「最近の宇宙論をめぐって」 上智大学教授 柳瀬睦男	昭63.3
No.27	ライフサイエンス ㈱三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3	No.59	「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」 ローマ大学教授 パオロ・マリア・ファゼラ	平1.7
No.28	「錬金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 高 誠	昭57.4	No.60	「温室効果による地球環境の変動と対策」 中央大学理工学部教授 安藤淳平	平1.9
No.29	「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7	No.61	「組織の進化論」—企業及び軍事組織における進化— 一橋大学商学部教授 野中郁次郎	平2.3
No.30	「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7	No.62	「ファジー理論の誕生と進化」 カリフォルニア大学バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー	平2.9
No.31	「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10			
No.32	「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12			

発 行 者 仲 井 通 裕  
発 行 所 財 団 法 人 本 田 財 団

〒104 東京都中央区八重洲2-6-20  
TEL. 東京 03 (274) 5 1 2 5

本田財団レポートNo.67

「建築と自然」

シュツツツガルト大学軽量建築研究所教授 フライ・オットー

財団法人 本田財団



### Professor Frei Otto

In the field of architecture, Professor Otto has introduced and developed a new creative method of the membrane structure based upon his profound interdisciplinary study into ecological structure, organization and models imbued with a harmony and natural balance. Further, he has presented many outstanding works of architecture, which have been built utilizing such new methods and which reflect his concept of a beautiful and rich human environment.

### Personal History

- 1925 Born in Siegmars, Sachsen, Germany
- 1950-1951 Studied sociology and city planning at the University of Virginia
- 1952 Obtained the title "independent architect" from Berlin
- 1962 Became a visiting professor at the University of California, Berkeley and at Harvard University
- 1964- Served as professor and director at the Lightweight Plane Support Institute of Stuttgart University
- 1969 Founded Atelier Warmbronn
- 1973 Doctor of Art and Architecture from the University of Washington, U.S.A
- 1980 Honorary Doctor of Science from Barth University, U.K.

In addition, Professor Otto has Worked with numerous architectural styles including gardens, kindergartens, churches and hotels as well as the German Pavilion in the Montreal Expo of 1967 and the Roof of the Munich Olympic Games in 1971, receiving various awards from many countries.

オットー氏の受賞は、氏が自然の調和と均衡を備えた、生態的構造・組織・造形について学際的見地より深く研究して、建築学の分野に新しい独創的な膜構造の手法を導入・開発するとともに、この新しい手法を用いて、美しく豊かな人間環境の観念に即した数々の優れた建築作品を残したことによるものです。

### ●略歴

- 1925 ドイツ、ザクセン州ジークマール生まれ
- 1950～1951 ヴァージニア大学で社会学、都市計画を研究
- 1952 ベルリン「独立建築士」の称号取得
- 1962 カリフォルニア大学バークレー校及びハーバード大学客員教授
- 1964～ シュツツガルト大学軽量建築研究所教授兼所長
- 1969 アトリエ・ヴァルムブロン開設
- 1973 米国、ワシントン大学 芸術・建築学博士
- 1980 英国、バース大学 名誉科学博士

この他、モントリオール万博ドイツ館（1967）、ミュンヘンオリンピックの屋根（1971）を代表とし、庭園、幼稚園、教会、ホテル等、数多くの建築物を手掛け、各国より、数々の賞を受賞する。

# Architecture and Nature

*Professor Frei Otto*  
*Lightweight Plane Support Institute of Stuttgart University*

*Text of a lecture presented on the occasion of the award of the 1990 Honda Prize on 16 November, 1990*

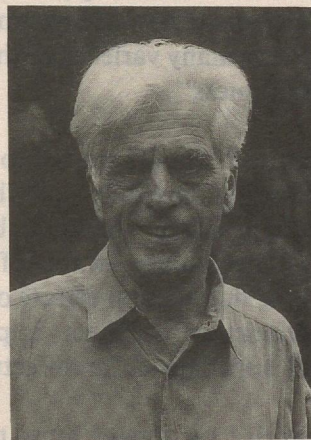
There is discord between ourselves and the world we live in. Architects have been building against nature for 5000 years. It has been their duty to protect mankind against enemies, and especially against its greatest enemy: nature. Houses have been their weapons and their symbols of victory.

The architects of today, still build against nature. They have destroyed nature and they continue to destroy nature instead of conserving it.

They can build everything they want to build. The technical and the financial possibilities have never been so great before. Feasibility is not the problem today, but rather the enormous range of options available to us.

As all buildings, —since they should not collapse—, are subject to the natural laws of physics, certain constructions and building designs are more appropriate for certain purposes than others. However, this fact does not reduce the number of possibilities open to the architect. Even the search for the minimal house, —that is a house which has nothing unnecessary—, has led to more than one solution.

Against this background the question arises: Why are so many buildings overdesigned obstacles against nature?



Is the will to be artificial unnatural? Man himself has invented the artificiality by restriction based on social conventions, doctrines, design regulations and aesthetics. Art and the artificial are still regarded as the opposite of nature and the natural. But these opposites are outdated. However, architects still lack the philosophical basis which could help us develop a new understanding of nature and to see man as a part of it.

The ability to build naturally has yet to be developed. There is still no natural architecture. But I hope that there will be the peace between man and the ever changing nature. It is our duty today to prepare the many new roads to natural and humane architecture. We will only make use of the irretrievable chance of our age if we set to work now; if we do what has to be done, simply, naturally and friendly, with a will to peace and an awareness of what is good and right.

The second half of our twentieth century is a time of big changing. In architecture there was taking place a radical transformation in its relation to humanity.

In the architecture of the Fifties humanity meant creating vast amounts of living space. In the architecture of the Sixties it meant emphasizing simple forms. In the Seventies it meant reviving past

aesthetics. The term of humanity was alienated, because it was increasingly equated with beauty and finally replaced by it.

At the beginning of the Sixties the term "humanity", which had increasingly been overused, and thus was losing much of its meaning-, was also being related to the many varieties of the term "nature" or "naturalness".

Some architects finally started to realize that their aims, working methods and the resulting products were, in principle, unnatural, because man is increasingly becoming aware of ecological problems and the detrimental effects of buildings. Already, a minority of architects is promoting a new ecological approach to architecture.

This minority no longer aims to serve the clients or users of a specific project alone, nor to build for man or for humanity alone, but to attain a new, all-embracing naturalness. The buildings and the people who live in them are seen as an integral part of a greater whole. It is imperative to help people, but it is no longer man who is the center of nature.

This new view of nature leads to a new understanding of nature, not only by architects. The most recent findings of natural science and an awakened society force us to reconsider. The awareness that vast ecological systems are ailing has a mobilizing effect on us.

The youngest ecological system within evolution is the human city which has probably never been genuinely healthy since it came into existence. Not blind conservation of nature, but integration of the natural individual into his environment, into the world in which he lives, is our new task. And this means achieving greater knowledge of the natural processes which lead to the forms of objects. These forms, in turn, form the overall picture of nature.

Just as architects of the Twenties never found the entirely simple and inexpensive "house per se", so the form of the "natural house" and furthermore the "natural city" has still to be found today, —not surprisingly, since only a few architects are searching for it anyhow. Most are content to celebrate those forms which they think are ecological or biological.

Some architects think that they will find a greater nearness to nature by limiting living natur-

al forms and structures. For the most part this is bound to fail.

Technical objects such as a house do not become natural by imitating forms found in living nature or by using so called biological building materials.

Gradually, adaptable building has developed since about the end of World War II. Buildings are no longer conceived and built as unchangeable entities, but can be adapted to changing tasks. The potential for rejuvenation is built into them.

The idea of adaptable building has led many people to again build their individual homes for themselves. A new, unconventional do-it-yourself building culture, borne out by amateurs, has developed and should be taken very seriously.

In the field of architecture (including engineering, cityplanning and environmental design) we are nowadays aware of a fact which we call plurality.

This means: All of the old traditional methods of design are still valid. They are not out of date. On the other hand new methods of thinking and new technical inventions have been introduced. There are infinite possibilities. Man is technically prepared to solve the immense problems.

This new time of plurality makes it possible to focus on aspects of increasing importance, which are for example:

- a new understanding of the terms humanity and nature as an inseparable whole;
- conservation of nature, in particular of the biological macro systems and their components;
- avoiding of unnecessary buildings and building masses and conserving the energy for human and ecological concerns;
- a new sensitization of the faculty of perception for quality in architecture by reviving lost components of the senses;
- the integration of contemporary arts as painting, sculpture and music;
- striving for natural security for every human being in a society which through tolerance encourages individuality;
- consideration of natural self-forming processes when designing buildings and developing cities;
- development of adaptable building adequate to changing environment and functions through the use of adjustable structures;

Now I will give you some remarks on my own research work, which follows one way of all the unnumbered possible ways in the plurality of our time.

In the field of building structures my research work relates to the evolution of light weight structures such as space frames, shells, tents, air-supported membrane halls and adaptable dwelling houses.

One of the very clear results of our research was that most of the technical functions of buildings can be performed by a very small consumption of material and/or energy, which often means that less than 5% are necessary from that what is usually used on normal buildings.

In the field of natural sciences we study together with biologists living structures and we do research work on so called self-making or self-organizing processes in non-living nature, using the methods of synergetics. We concentrate our work especially on those processes which are equivalent responsible for the building of forms in living nature and which equally influence many kinds of technics of man, such as cityplanning, engineering and architecture.

For this reason we cooperate with physicists, mathematicians, engineers, biologists, historians and philosophers.

In our research teams we know: Scientific results become only valid by having been proved in experiments.

Real experiments in the field of architecture are executed buildings which should be carefully observed in their behaviour as parts of the human society and their environment.

But even buildings which are scientifically correct and perfectly done don't guarantee to be at the same time objects of architectural art.

Nowadays the architect is still demanded to gain the special quality of architecture. It is his duty to develop and to guide projects as far as possible until buildings get their own individual beauty.

## 建築と自然

私たちと私たちが住む世界との間には不調和がみられる。建築家は5千年もの間自然に対抗した建築を建造してきた。敵から人類を守ること、とりわけ最大の敵である自然から人間を守ることその任務としてきた。家は彼らの武器であり、勝利の象徴となってきた。

現代の建築家も、依然として自然に対抗して建造物を建築している。彼らはこれまで、また現在も自然を保護するのではなく、破壊し続けている。

建築家は自分が望むとおりのものをすべて建造できる。技術力・財力がこれほどまでに大きかったことはかつてなかった。今日では実行が可能かどうかはもはや問題ではなく、むしろ膨大な選択肢からどれを選択するかの方が問題である。

あらゆる建造物は、崩壊すべきではなく、従って物理学の自然の法則に従うものであり、一部の建造物や設計は特定の目的により適したものとなっている。しかし、このような事実があるからといって、建築家に開かれた可能性の数が減るわけではない。不要なものは何もないという最低限の住宅を探究する中においても、1つ以上の解答が生まれてきているのである。

このような背景の中で、「なぜこれほどに多くの建築物がデザイン過剰の自然の障害物となっているのであろうか。」という疑問が生じてくる。

人工的、不自然であることを意図しているのであろうか。人間自身が、社会習慣、教義、設計規則、美学に基づき制限を設けて不自然さを造り出したのである。「芸術」と「人工的」は今もって「自然」と「自然のままの」の反意語として捉えられているが、これらの反意語は時代遅れである。しかし、建築家は、自然に対する新しい理解を持ち、人間を自然の一部として捉えるための哲学的基盤が今なお欠けている。

自然理法に従って建築する能力をこれから伸ばしていかなければならない。自然な建築と呼べるものはまだない。しかし、私は、人間と絶えず変わりゆく自然の間に平和が訪れることを願っている。自然でヒューマンな建築への新しい道を数多く作っていくことが今日の私たちの務めである。今その務めに着手すれば、すなわち、平和への意思と何が善であり、正しいのかについて自覚して、なすべきことをシンプルに、自然に、そして好意的に行えば、私たちの時代の二度とないチャンスを活かすことができるのであろう。

20世紀後半は大変革の時代である。建築においても、人間性との関係において抜本的な変化が起きた。

50年代の建築では、広い生活空間を造り出すことによって人間性を求めた。60年代の建築においては、人間性とはシンプルなフォームを重視することであった。70年代は、過去の美学の復興であった。人間性という言葉は、益々美と同一化され、そして最後には美に取って代わられ、疎外されたのである。

60年代初頭には、「人間性」という言葉は、益々乱用され、意味の多くを失いながら、「自然」とか「自然であること」等という種の様々な言葉に関連付けられていった。

人類は益々生態学上の諸問題について気付き始め、建築物の有害な影響を知るようになり、建築家の中にも、自分たちの目的、作業手段、そして結果と生じる作品が原則として不自然なものであることにより気付き始めた人々が出てきた。すでに、少数ではあるが、建築家も建築に対して新しい生態学的なアプローチを推進している。

これらの少数派の建築家は、もはや顧客や特定のプロジェクトのユーザーの注文を聞こうとか、あるいは人類のためや人間性のためだけに建築しようなどとはせず、すべてを包み込むような新しい自然らしさを達成することを目指している。建築とそこに住む人間はより大きな全体の中の不可欠な一部として捉えられる。人間を助力することは不可欠なことであるが、しかし人間はもはや自然の中心にはないのである。

この新しい自然観により、建築家に限らず自然について新しい理解が生まれてきている。自然科学の最新の発見、そして目覚めた社会により私たちは再考を迫られている。広大な生態系が苦しんでいることに気付いた私たちは、行動を起こしつつある。

進化の中で最も若い生態系は、私たち人間の大都市である。それは存在してこのかた真に健康であったことはおそらく一度もなかった。盲滅法の自然保護ではなく、自然のままの個々人をその環境、その人が住む世界に統合することが、私たちの新たな任務である。そしてこれは、これらのフォームが自然全体の姿を形作るのである。物体のフォームを形作る自然の作用についての知識を増大することである。

20年代の建築家が全くシンプルで安価な「それ自体で家となるもの」を見つけられなかったと同様に、「自然の家」、さらには「自然の都市」の形態も今なお見つかっておらず、これを見つけなければならない。驚くまでもなく、それを探究している建築家がほんのわずかしかないからである。大半の建築家は、自分たちが生態学的あるいは生物学的であると思う形態を褒めたたえることに甘んじているのである。

一部の建築家は、現存する自然の形態や構造を模倣することでより自然に近づけると考えている。しかしこれも大部分は失敗するであろう。

家のような技術的物体は、現存する自然を模倣したり、いわゆる生態学的建材を使うことでは自然なものにはならない。

およそ第2次世界大戦後の頃から、適応性のある建築物が次第に発達してきた。建築物はもはや不変の実体として考えられたり、建造されることはなく、変わりゆくその任務に適応できるようになっている。若返りの力が建築物に組み込まれているのである。

適応性のある建築物という概念により、多くの人々がかつてのように自分の家は自分で建てるようになった。新しい、型にはまらないDIY (do-it-yourself) の建築文化がアマチュアの人々の支持を得て発展してきており、真剣に考えるべきものとなっている。

(工学、都市計画、環境デザインなども含め) 建築の分野において、今日私たちは「複数」という事実気付いた。

すなわち次のようなことである：

従来の古いデザイン・メソッドもすべて今なお有効である。決して時代遅れではない。その一方で、新しい考え方、新しい技術革新も導入されている。可能性は無限である。私たち人類は数かぎりない問題の解決に技術的には可能である。

この「多数」の新しい時代は、例えば以下のような益々その重要性を高めている側面を重視するようになってきた。：

- 人間性と自然という2つ言葉を不可分な一体として捉える新しい理解；
- とりわけ生物マクロ・システムやその構成要素などの自然の保護；
- 人間や生態系のために、不必要な建築物や建築集団を避け、エネルギーを保存すること；
- 失われた感覚を回復させ、建築の質に対する知覚力を鋭敏にすること；
- 絵画、彫刻、音楽などの現代芸術の統合；
- 寛容をもって個性を奨励する社会において、全人類のために自然保護に努めること；
- 建築物の設計や都市開発にあたり、自然の自己形成作用を考慮すること；
- 調整可能な構造を使用し、変化する環境や機能に適応できる建築物の開発。

さて、次に私のリサーチについて説明したい。私は、私たちの「多数」の時代にあってあらゆる数かぎりない可能性のうちのひとつに従ってリサーチを進めてきた。

ビル建築の分野においては、立体骨組、シェル、テント、エアー・サポート・メンブレイン・ホール、可適応住宅などの軽量建造物の発展について研究を行っている。

私たちの研究の成果のひとつは、建築物の技術的な機能の大半は、極めて少量の資材／エネルギーの使用で果たすことができるということである。これは、多くの場合、通常の建築物に一般に使用する資材及び／あるいはエネルギーの必要量の5%にも満たない。

自然科学の分野においては、私たちは生物学者と共同で生命構造について研究しており、相乗作用の方法を使って、生命のない自然 (non-living nature) の

いわゆる自己組織化過程について研究を進めている。特に、生命ある自然 (living nature) の中であってフォームの形成にやはり同様の責任を果たし、また都市計画、工学、建築などの人類の多種にわたる技術に同様に影響をおよぼすこれらの過程の研究に力を入れている。

このため、私たちは、物理学者、数学者、エンジニア、生物学者、歴史学者、哲学者と協力している。

私たちの研究チームでは、次のことが明らかとなっている：

科学的結果は、実験によって証明されてのみ有効である。

建築の分野において本当の実験をするには、建築された建造物が人間社会及び環境の一部としてどのような行為をするかを注意深く観察することである。

しかし、科学的に正しく、完璧に建造された建築物だからといって必ずしも同時に建築の芸術品である保証はない。

今日建築家は依然として建築に特質を設けるよう要求されている。建築物が独自の美を見せるところまでプロジェクトを開発し、指導することが建築家の義務である。

1.1	山本 隆	建築学	京都大学
1.2	藤 孝	建築学	京都大学
1.3	大塚 隆	建築学	京都大学
1.4	山本 隆	建築学	京都大学
1.5	藤 孝	建築学	京都大学
1.6	大塚 隆	建築学	京都大学
1.7	山本 隆	建築学	京都大学
1.8	藤 孝	建築学	京都大学
1.9	大塚 隆	建築学	京都大学
1.10	山本 隆	建築学	京都大学
1.11	藤 孝	建築学	京都大学
1.12	大塚 隆	建築学	京都大学
1.13	山本 隆	建築学	京都大学
1.14	藤 孝	建築学	京都大学
1.15	大塚 隆	建築学	京都大学
1.16	山本 隆	建築学	京都大学
1.17	藤 孝	建築学	京都大学
1.18	大塚 隆	建築学	京都大学
1.19	山本 隆	建築学	京都大学
1.20	藤 孝	建築学	京都大学
1.21	大塚 隆	建築学	京都大学
1.22	山本 隆	建築学	京都大学
1.23	藤 孝	建築学	京都大学
1.24	大塚 隆	建築学	京都大学
1.25	山本 隆	建築学	京都大学
1.26	藤 孝	建築学	京都大学
1.27	大塚 隆	建築学	京都大学
1.28	山本 隆	建築学	京都大学
1.29	藤 孝	建築学	京都大学
1.30	大塚 隆	建築学	京都大学
1.31	山本 隆	建築学	京都大学
1.32	藤 孝	建築学	京都大学
1.33	大塚 隆	建築学	京都大学
1.34	山本 隆	建築学	京都大学
1.35	藤 孝	建築学	京都大学
1.36	大塚 隆	建築学	京都大学
1.37	山本 隆	建築学	京都大学
1.38	藤 孝	建築学	京都大学
1.39	大塚 隆	建築学	京都大学
1.40	山本 隆	建築学	京都大学
1.41	藤 孝	建築学	京都大学
1.42	大塚 隆	建築学	京都大学
1.43	山本 隆	建築学	京都大学
1.44	藤 孝	建築学	京都大学
1.45	大塚 隆	建築学	京都大学
1.46	山本 隆	建築学	京都大学
1.47	藤 孝	建築学	京都大学
1.48	大塚 隆	建築学	京都大学
1.49	山本 隆	建築学	京都大学
1.50	藤 孝	建築学	京都大学
1.51	大塚 隆	建築学	京都大学
1.52	山本 隆	建築学	京都大学
1.53	藤 孝	建築学	京都大学
1.54	大塚 隆	建築学	京都大学
1.55	山本 隆	建築学	京都大学
1.56	藤 孝	建築学	京都大学
1.57	大塚 隆	建築学	京都大学
1.58	山本 隆	建築学	京都大学
1.59	藤 孝	建築学	京都大学
1.60	大塚 隆	建築学	京都大学
1.61	山本 隆	建築学	京都大学
1.62	藤 孝	建築学	京都大学
1.63	大塚 隆	建築学	京都大学
1.64	山本 隆	建築学	京都大学
1.65	藤 孝	建築学	京都大学
1.66	大塚 隆	建築学	京都大学
1.67	山本 隆	建築学	京都大学
1.68	藤 孝	建築学	京都大学
1.69	大塚 隆	建築学	京都大学
1.70	山本 隆	建築学	京都大学
1.71	藤 孝	建築学	京都大学
1.72	大塚 隆	建築学	京都大学
1.73	山本 隆	建築学	京都大学
1.74	藤 孝	建築学	京都大学
1.75	大塚 隆	建築学	京都大学
1.76	山本 隆	建築学	京都大学
1.77	藤 孝	建築学	京都大学
1.78	大塚 隆	建築学	京都大学
1.79	山本 隆	建築学	京都大学
1.80	藤 孝	建築学	京都大学
1.81	大塚 隆	建築学	京都大学
1.82	山本 隆	建築学	京都大学
1.83	藤 孝	建築学	京都大学
1.84	大塚 隆	建築学	京都大学
1.85	山本 隆	建築学	京都大学
1.86	藤 孝	建築学	京都大学
1.87	大塚 隆	建築学	京都大学
1.88	山本 隆	建築学	京都大学
1.89	藤 孝	建築学	京都大学
1.90	大塚 隆	建築学	京都大学
1.91	山本 隆	建築学	京都大学
1.92	藤 孝	建築学	京都大学
1.93	大塚 隆	建築学	京都大学
1.94	山本 隆	建築学	京都大学
1.95	藤 孝	建築学	京都大学
1.96	大塚 隆	建築学	京都大学
1.97	山本 隆	建築学	京都大学
1.98	藤 孝	建築学	京都大学
1.99	大塚 隆	建築学	京都大学
2.00	山本 隆	建築学	京都大学

本田財団レポート

No.1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.35	「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.36	「第3世代の建築」 株式会社清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.37	「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No.4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶大	昭53.10	No.38	「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.39	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.40	日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.7	科学は進歩するのか変化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.41	「人間と自然との新しい対話」 ブラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	昭59.2
No.8	ヨーロッパから見た日本 NHK解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.42	「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正純	昭54.6	No.43	ベルギー「フランドル行政府産業使節団」講演会	昭59.7
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.44	「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学教授 小菅敏夫	昭59.7
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム スtockホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.45	「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉ともこ	昭59.10
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.46	「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロンボ	昭60.1
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.47	「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.48	「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.15	最近の国際情勢から NHK解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.49	「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 MIT大学教授 イシエル デ ソラ プール	昭55.5	No.50	「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶応義塾大学教授 森 敬	昭61.5
No.17	寿命 東京大学教授 吉川俊之	昭55.5	No.51	「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学教授 カール・セーガン	昭62.2
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.52	「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.53	「中国人とどのようにおつきあひすべきか」 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭62.2
No.20	'80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.54	「舞台の奥のヨーロッパと日本」 演出家 寺崎裕則	昭62.5
No.21	技術と文化 IVA事務総長 グナー・ハンベリユース	昭55.12	No.55	「日米関係の現状と展望」 経団連特別顧問 大河原良雄	昭62.5
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.56	私の半導体研究 東北大学教授 西澤潤一	昭63.1
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.57	「生物学者の科学的責任」 コレージュ・ド・フランス名誉教授 ジャン・ドーセ	昭63.4
No.24	中国の現状と将来 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.58	「最近の宇宙論をめぐって」 上智大学教授 柳瀬睦男	昭63.3
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.59	「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」 ローマ大学教授 パオロ・マリア・ファゼラ	平 1.7
No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センターコンサルタント ハロイド チェスナット	昭57.1	No.60	「温室効果による地球環境の変動と対策」 中央大学理工学部教授 安藤淳平	平 1.9
No.27	ライフサイエンス 株式会社化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3	No.61	「組織の進化論—企業及び軍事組織における進化—」 一橋大学商学部教授 野中郁次郎	平 2.3
No.28	「錬金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4	No.62	「ファジー理論の誕生と進化」 カリフォルニア大学バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー	平 2.9
No.29	「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7	No.63	「遷都問題について」 通産省工業技術院 国際研究協力課長 八幡和郎	平 2.12
No.30	「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7	No.64	「クリーンエネルギーとしての水素利用」 東海大学工学部 応用物理学科教授 内田裕久	平 2.12
No.31	「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10	No.65	「地価インデックス債による土地問題の解決」 一橋大学経済学部教授 野口悠紀雄	平 3.1
No.32	「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12	No.66	「宇宙のひとかけら」としての人間の視座」 松下技研(株)主幹研究員 佐治晴夫	平 3.4
No.33	「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1	No.67	「建築と自然」 シュツツツガルト大学軽量建築研究所教授 フライ・オットー	平 3.5
No.34	「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2			

発行者 仲井通裕

発行所 財団法人 本田財団

〒104 東京都中央区八重洲2-6-20

TEL. 東京 03 (3274) 5125

本田財団レポートNo.59

科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察

EC委員会第Ⅻ総局長  
ローマ大学教授

パオロ・マリア・ファゼラ

財団法人 本田財団

# The International Dimension of Scientific and Technological Research: Prospects and Perspectives

本田財団レポートNo.59

## 科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察

EC委員会第Ⅷ総局長  
ローマ大学教授

パオロ・マリア・ファゼラ

It is a great honour and a great responsibility to address you today. I am pleased to be here in the presence of the Honorable Chairman of the Commission of the European Communities, Mr. Jacques Delors, and the Honorable President of the Japanese Government, Mr. Nakasone. It is a pleasure to be here with you, and I am sure that this presentation will be most interesting and profitable to you. I am sure that this presentation will be most interesting and profitable to you.

World-wide publication, discussion, their critical discussion, confirmation and further use by fellow scientists, recognition of priority and originality, protection of intellectual property through author's rights and patents, have enormously stimulated growth, assured validation, and encouraged practical experiments.

During the last decades Science and Technology have become more valuable from the economical, social, political and military point of view; they have also become more expensive.

Professor Paolo Maria Fasella is awarded HOFER PRIZE for his privilege and honor in the field of the science and its application and also in recognition of his scientific international activities which contributed greatly towards harmonizing relations between men and science in the modern world.

1972-1973 President of the Italian Society of Biology  
1973-1974 President of the Italian Society of Biology  
1975-1976 President of the Italian Society of Biology  
1977-1978 President of the Italian Society of Biology  
1979-1980 President of the Italian Society of Biology  
1981-1982 President of the Italian Society of Biology  
1983-1984 President of the Italian Society of Biology  
1985-1986 President of the Italian Society of Biology  
1987-1988 President of the Italian Society of Biology  
1989-1990 President of the Italian Society of Biology  
1991-1992 President of the Italian Society of Biology  
1993-1994 President of the Italian Society of Biology  
1995-1996 President of the Italian Society of Biology  
1997-1998 President of the Italian Society of Biology  
1999-2000 President of the Italian Society of Biology  
2001-2002 President of the Italian Society of Biology  
2003-2004 President of the Italian Society of Biology  
2005-2006 President of the Italian Society of Biology  
2007-2008 President of the Italian Society of Biology  
2009-2010 President of the Italian Society of Biology  
2011-2012 President of the Italian Society of Biology  
2013-2014 President of the Italian Society of Biology  
2015-2016 President of the Italian Society of Biology  
2017-2018 President of the Italian Society of Biology  
2019-2020 President of the Italian Society of Biology  
2021-2022 President of the Italian Society of Biology  
2023-2024 President of the Italian Society of Biology  
2025-2026 President of the Italian Society of Biology  
2027-2028 President of the Italian Society of Biology  
2029-2030 President of the Italian Society of Biology

For this reason, it is necessary to have a new approach to the management of scientific research. This approach should be based on the following principles: 1. The need for international collaboration. 2. The need for a common framework of reference. 3. The need for a common language. 4. The need for a common methodology. 5. The need for a common evaluation system. 6. The need for a common funding system. 7. The need for a common dissemination system. 8. The need for a common protection system. 9. The need for a common promotion system. 10. The need for a common recognition system. 11. The need for a common celebration system. 12. The need for a common commemoration system. 13. The need for a common memorial system. 14. The need for a common monument system. 15. The need for a common museum system. 16. The need for a common library system. 17. The need for a common archive system. 18. The need for a common database system. 19. The need for a common network system. 20. The need for a common infrastructure system. 21. The need for a common support system. 22. The need for a common service system. 23. The need for a common maintenance system. 24. The need for a common repair system. 25. The need for a common replacement system. 26. The need for a common disposal system. 27. The need for a common recycling system. 28. The need for a common energy system. 29. The need for a common water system. 30. The need for a common air system. 31. The need for a common land system. 32. The need for a common sea system. 33. The need for a common sky system. 34. The need for a common earth system. 35. The need for a common universe system.

### Professor Paolo Maria FASELLA

is awarded HONDA PRIZE together with all the privileges and honours pertaining thereto,

in recognition of his outstanding research work in the field of life science and its applied areas; and, also, in recognition of his extensive international activities which contributed greatly towards harmonious development between men and science in this modern world.

#### Biography and Positions

- 1930 Born in Rome, Italy  
1954 M.D., The University of Rome  
1963—1965 Associate Professor, The University of Rome  
1965—1968 Associate Professor, The University of Parma  
1968—1971 Full Professor, The University of Parma  
1971 Full Professor, The University of Rome  
1975—1977 President of the European Molecular Biology Conference  
1982—1985 President of the International Union of Biological Sciences  
1981 to present Director General of the Directorate General XII for Research, Science and Development and the Joint Research Center, Commission of the European Communities  
1982—1985 Member of the "Working Group on Technology, Growth and Employment" established by the Summit of Industrialized Countries  
1985 to present Representative of the Commission of the European Communities in the EUREKA Group of High Officials

#### He is Currently:

Director General of the Directorate General XII for Research, Science and Development and the Joint Research Center, Commission of the European Communities

- \* Member of the New York Academy of Sciences
- \* Member of the European Molecular Biology Organization
- \* Representative of Standing Committee of Assessment and Priorities of International Council of Scientific Union

#### Recent Monographs

- Rat Brain monitoring by near-infrared spectroscopy: an assessment of possible clinical significance
- X-Ray Absorption Near Edge Structure (XANES) Determination of Calcium Sites of Troponin C and Parvalbumin
- Non-invasive infrared monitoring of tissue oxygenation and circulatory parameters
- Interaction of aminotransferases with other metabolically linked enzymes
- Closing remarks of the proceedings of the symposium "The Revolution of New Technology", 4-7 October 1985
- Ethical Issues in predictive medicine, Rome, 11-15 April 1988

ファゼラ氏の受賞は、生命科学とその応用分野において、卓越した研究業績と、これを基盤として、現代社会における人間と科学技術の調和ある発展のために、国際的な幅広い実践的諸活動を展開してこられた功績によるものです。

#### ●学歴および経歴

- 1930 イタリア、ローマ生まれ  
1954 ローマ大学卒業(医学)  
1963~1965 ローマ大学准教授(生物学)  
1965~1968 パルマ大学准教授(生化学)  
1968~1971 パルマ大学教授(生化学)  
1971 ローマ大学教授(生化学)  
1975~1977 ヨーロッパ分子生物学会議 会長  
1982~1985 国際生物学連盟(IUBS) 会長  
1981~ 欧州共同体(EC)委員会 第Ⅻ総局(研究開発並びに共同研究センター) 総局長  
1982~1985 先進国首脳会議設立の「テクノロジー、成長、雇用に関する作業グループ」メンバー  
1985~ ユーレカ計画 欧州共同体(EC)委員会代表

同氏は現在、欧州共同体(EC)委員会第Ⅻ総局(研究開発並びに共同研究センター) 総局長を務めるかたわら、  
—ニューヨーク科学アカデミー会員  
—ヨーロッパ分子生物学機構(EMBO)メンバー  
—国際学術連合の評価・審査の常任委員会代表も、兼任しておられます。

#### ●近年発表の論文

- 近赤外線分光学によるラットの頭脳の観察・臨床面における重要性の評価
- トロポニンCとパーバルブミンのルシウム位置へのXANESの定量
- 代謝により結合した酵素とaminotransferasesの相互作用
- シンポジウム「新テクノロジーの改革」(1985年10月)の会報の後書き
- 予防医学における倫理的問題

# The International Dimension of Scientific and Technological Research: Prospects and Perspectives

SPEECH OF PROF. P.M. FASELLA

JAPAN, NOVEMBER 88

Mr. Honda  
Amb. Shimoda  
Mr. Minister  
Ladies and gentlemen

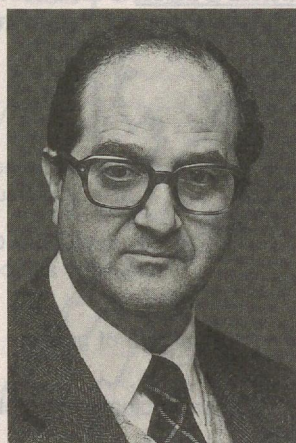
It is a great honour and a great responsibility to address you tonight. I wish to thank the Honda Foundation for the honour and you all for your presence.

It is one of the tenets of Mr. Honda that technology must respond to recognized needs; the same should be said of many human activities, including research. This presentation concerns what, in my own view, are increasing needs for international collaboration in science and technology.

Science and technology are by their very nature transnational: collaboration and open competition have greatly contributed to their accelerated development over the last three centuries.

World-wide publication of results and ideas, their critical discussion, confirmation and further use by fellow scientists, recognition of priority and originality, protection of intellectual property through author's rights and patents, have enormously stimulated growth, assured validation, and encouraged practical exploitations.

During the last decades Science and Technology have become more valuable from the economical, social, political and militar point of view; they have also become more expensive,



interdependent and complex. This has several effects on international collaboration.

The increased "value" of science and technology induces individuals, companies, and countries to be more "jealous" of their research results and to impose constraints to their free circulation because of economic and/or military reasons.

Are new systems necessary to assure protection of inventions without losing the benefits of openness? Should patent and author's right legislation be revisited?

What is the correct equilibrium between collaboration and competition in research? What is the impact of dual use technologies?

These problems were raised at the 1987 O.E.C.D. meeting of Research Ministers, and are presently analyzed by that organization. The increased "cost" of research favours the development of international collaboration beyond the traditional "scientist with scientist" interactions. Indeed, some individual projects have become so expensive in financial terms and so exacting in the quality and quantity of knowledge and know-how, as to make international collaboration a "conditio sine qua non". This has been particularly necessary in Western Europe where individual countries, though very advanced are not large enough to support alone some big science projects.

Several examples of successful EUROPEAN ventures could be given, ranging from CERN (Comité Européen pour la Recherche Nucléaire) which recently demonstrated the existence of particles Z<sup>0</sup>, W<sup>+</sup> and W<sup>-</sup>, to ARIANE which brought Western Europe into space.

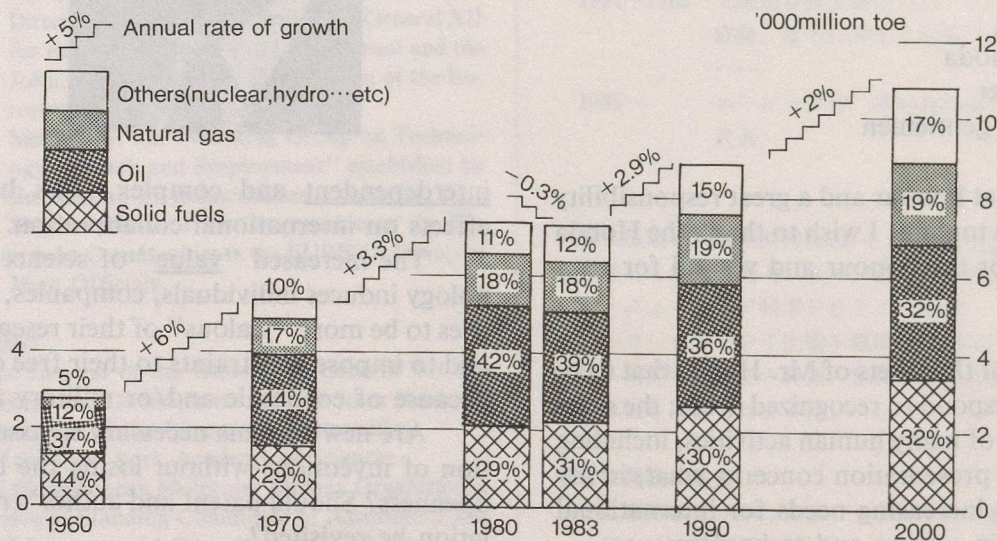
The European Community (EC) Programme on Controlled Nuclear Fusion is an interesting case. The 12 Member States of the E.C. plus Sweden and

Switzerland, have decided to pursue together this very ambitious, very long-term, very difficult but also very promising programme, the ultimate goal of which is the development of a cheap, universally available, environmental-friendly source of energy. Honda Prize recipients U. Colombo and Nishizawa would agree on the interest of pursuing the controlled nuclear fusion approach to the long term satisfaction of energy requirements (cf. fig. 1).

**Fig-1 Energy 2000**

A reference projection and alternative outlooks for the European Community and the world to the year 2000

WORLD GROSS ENERGY CONSUMPTION\*  
(by sources)



WORLD GROSS ENERGY CONSUMPTION\*  
(by regions)

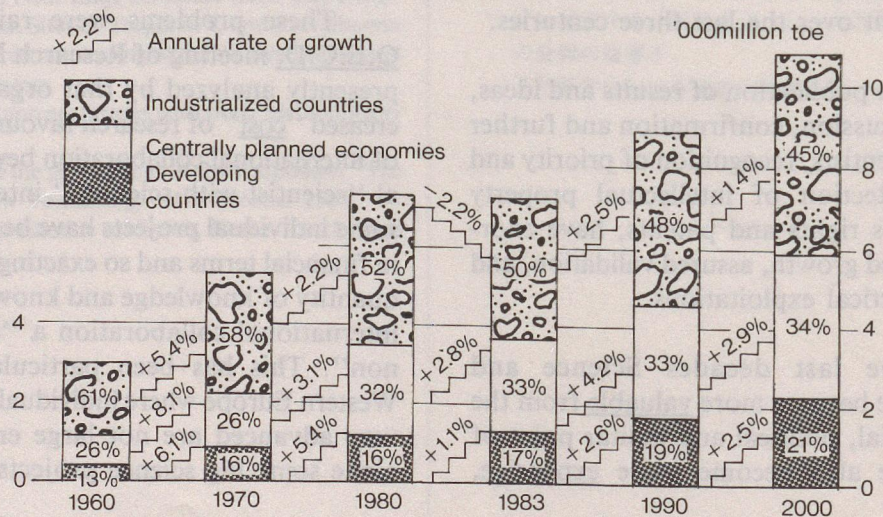
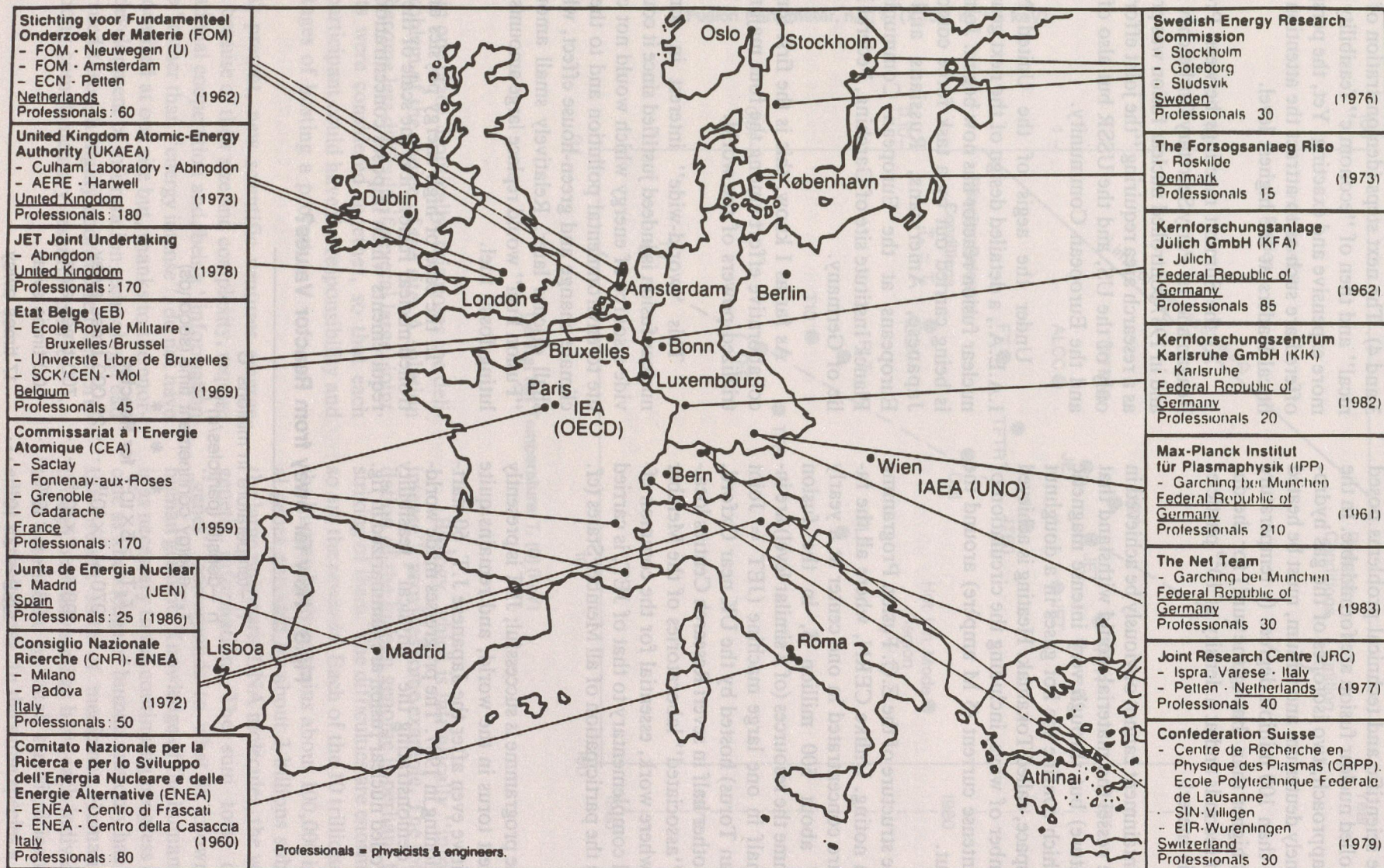


Fig.2 Location of fusion laboratories in Europe



The scientific and technical problems posed by controlled nuclear fusion are formidable. In the present approach, two isotopes of the gas hydrogen, namely deuterium and tritium, must be heated to more than 100 million degrees (a temperature 10 times higher than that of the sun!) for the duration of seconds and at a density of  $10^{20}$  particles per cubic meter!

Containment cannot obviously be achieved in a simple vessel (no material would withstand that temperature) but through very intense magnetic fields which confine the hot gases in a doughnut shaped space, called Tokamak. Heating is achieved in a number of ways, including the circulation of a very intense current (5 M ampère) around the doughnut.

The structure of the E.C. Fusion Programme is worth noting. Unlike CERN, where all the facilities are concentrated in one center at a yearly cost of about 500 million \$, in the fusion programme the resources (of a similar level) are invested half in one large machine (JET = Joint European Torus) hosted by the UK near Oxford, and the other half in several Research Centres localized in "associated" laboratories of the Member States, where work, essential for the common effort and complementary to that of JET, is carried out with the participation of all Member States (cf. fig. 2).

The programme is successful; JET is presently the largest torus in the world, and remains quite competitive even after the Japanese J.T. 60 started functioning in 1987. The progresses made worldwide in demonstrating the "physical" feasibility of controlled nuclear fusion are summarized in fig.

3 and 4). The next steps (demonstration of "technical" and then of "economic" feasibility will be more expensive and exacting. Yet, the perspective offered are such as to attract the attention of political leaders at the highest level.

At the Summit meetings between President Reagan and 1st Party Secretary Gorbachev in 1986 and in 1987 controlled nuclear fusion was proposed as a research area requiring "the joint effort", not only of the US, and the USSR but also of Japan and the European Community.

Under the aegis of the United Nations I.A.E.A., a detailed design of the next generation nuclear fusion reactor has now begun. Joint work is being carried out by a task force composed by Japanese, Americans, Russians and West Europeans at the European Community-Max Planck Institute site of Garching, Federal Republic of Germany.

As far as I know, this is the first long-term collaborative effort among the four major industrialized powers of the world.

This "world-wide" interest in controlled nuclear fusion is indeed justified since it could provide a source of energy which would not contribute to environmental pollution and to the global climate change and green-house effect, which we shall discuss later. Relatively small amounts of "Fusion Fuel" would replace large amounts of polluting fossil fuel.

In the case of high energy physics and controlled nuclear fusion, it is the scale of the energy requirements which imposes concentration of the

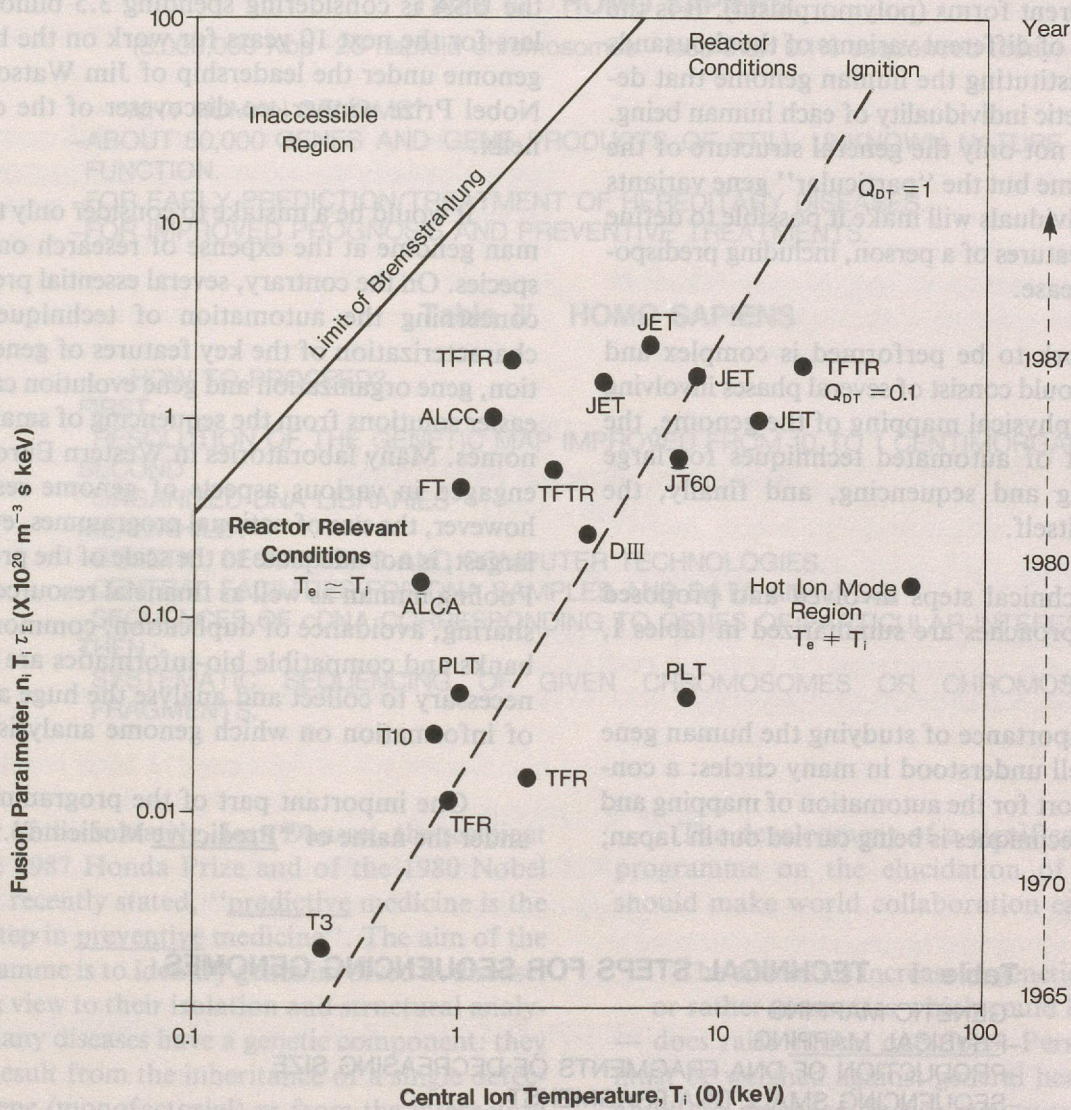
**Fig.3 How far away from Reactor Values?**

---

$T_i$	—temperature in millions °C
$n$	—density (particles/m <sup>3</sup> )
$\tau_E$	—energy confinement time (seconds)
	* * *
$n\tau_E T_i$	$> 5 \times 10^{22}$ for Reactor
1970	$\sim 2 \times 10^{18}$ . . . . . 25,000 times away
1980	$\sim 7 \times 10^{19}$ . . . . . 700 times away
1983	$\sim 5 \times 10^{20}$ . . . . . 100 times away
1988	$\sim 3 \times 10^{21}$ . . . . . 17 times away

---

Fig.4



effort in one place. Politically, this poses the delicate problem of the choice of the site. A solution could become less difficult, if several large, joint, projects were considered together, so that each main participant could have the responsibility and advantages of hosting a project.

At present, new scientific ventures emerge which, because of their size and complexity, require international cooperation and, being "information intense" rather than "energy intense", do not have to be localized at one site but, thanks to the enormous development of information technology, can be pursued through highly coordinated networking among complementary research centres.

Biology, which is intrinsically "information intense", provides some example. The total elucidation of the human genome is perhaps the most striking of them. The difficulties are enormous, but so are the rewards. Each of the 10 trillions cells of the human body contains about 100,000 individual genes encoded by about 3 billions subunits of the large polymeric DNA molecules, the vectors of genetic information. The sum total of these "genes" corresponds to what is known as the human genome. Knowledge of the human genome is as necessary to the continuing progress of medicine as knowledge of human anatomy has been for the present state of medicine. Human beings, though basically similar have each individual features determined by small but significant differences in their genes. In the same species a gene can

exist in different forms (polymorphism). It is the combination of different variants of the thousands of genes constituting the human genome that defines the genetic individuality of each human being. Deciphering not only the general structure of the human genome but the "particular" gene variants of single individuals will make it possible to define the genetic features of a person, including predisposition to disease.

The work to be performed is complex and tedious; it should consist of several phases involving the detailed physical mapping of the genome, the development of automated techniques for large scale cloning and sequencing, and finally, the sequencing itself.

The technical steps involved and proposed strategic approaches are summarized in tables I, II, III, IV.

The importance of studying the human gene has been well understood in many circles: a considerable effort for the automation of mapping and sequencing techniques is being carried out in Japan;

the USA is considering spending 3.5 billion dollars for the next 10 years for work on the human genome under the leadership of Jim Watson, the Nobel Prize winner, co-discoverer of the double helix.

It would be a mistake to consider only the human genome at the expense of research on other species. On the contrary, several essential problems concerning the automation of techniques, the characterization of the key features of gene function, gene organization and gene evolution can find easier solutions from the sequencing of smaller genomes. Many laboratories in Western Europe are engaged in various aspects of genome research; however, the size of national programmes, even the largest, is not adequate to the scale of the problem. Pooling human as well as financial resources, task sharing, avoidance of duplication, common databanks and compatible bio-informatics are indeed necessary to collect and analyse the huge amount of information on which genome analysis rests.

One important part of the programme goes under the name of "Predictive Medicine". A pro-

#### **Table I TECHNICAL STEPS FOR SEQUENCING GENOMES**

- GENETIC MAPPING
- PHYSICAL MAPPING
- PRODUCTION OF DNA FRAGMENTS OF DECREASING SIZE
- SEQUENCING SMALL DNA FRAGMENT
- DATA TREATMENT
- DEVELOPMENT OF SEQUENCING TECHNOLOGY
- MOLECULAR RULES GOVERNING STRUCTURE-FUNCTION RELATIONS
- APPLICATIONS IN MEDICINE AGRICULTURE AND INDUSTRY

#### **Table II STRATEGIC GUIDELINES**

- SEQUENCING SMALL GENOMES AS OBLIGATORY STEPS BEFORE TACKLING THE HUMAN GENOME.
- NETWORK APPROACHES SHOULD BE PREFERRED TO CENTRALIZED APPROACHES.
- HOWEVER CENTRALIZED DATA AND DNA MATERIAL REPOSITORIES ARE REQUIRED.
- GENETIC, SEQUENCING AND COMPUTER TECHNOLOGIES HAVE TO BE DEVELOPED IN PARALLEL.
- "SMALL SCIENCE" IS INDISPENSABLE FOR THE STUDY OF THE BIOLOGICAL FUNCTION OF NEWLY UNCOVERED GENES.
- TRAINING SHOULD BE LINKED TO RESEARCH ACTIONS.
- WORLD-WIDE COORDINATION SHOULD BE PROMOTED.

### Table III HOMO SAPIENS

(3,000,000 Kbp -23 haploid chromosomes - less than 0.1% sequenced today)

----WHY HUMAN GENOME?

- ABOUT 50,000 GENES AND GENE PRODUCTS OF STILL UNKNOWN NATURE AND FUNCTION.
- FOR EARLY PREDICTION/TREATMENT OF HEREDITARY DISEASES.
- FOR IMPROVED PROGNOSIS AND PREVENTIVE TREATMENTS.

### Table IV HOMO SAPIENS

----HOW TO PROCEED?

FIRST :

RESOLUTION OF THE GENETIC MAP IMPROVED FROM 10 TO 1 CENTIMORGANS

SECOND :

ORGANIZED DNA LIBRARIES

MEANWHILE :

- GENETIC, SEQUENCING AND COMPUTER TECHNOLOGIES.
- CENTRAL FACILITIES FOR DNA SAMPLES AND DATA ANALYSIS.
- SEQUENCES OF cDNA CORRESPONDING TO GENES OF PARTICULAR INTEREST.

THEN :

SYSTEMATIC SEQUENCING OF GIVEN CHROMOSOMES OR CHROMOSOME FRAGMENTS.

motor of this initiative, Jean Dausset, the recipient of the 1987 Honda Prize and of the 1980 Nobel Prize, recently stated, "predictive medicine is the first step in preventive medicine". The aim of the programme is to identify genes involved in disease, with a view to their isolation and structural analysis. Many diseases have a genetic component: they may result from the inheritance of a single defective gene (monofactorial) or from the interaction of multiple gene defects with environmental factors (multifactorial). Many common and debilitating diseases such as artery disease, diabetes the major psychoses, fall into the latter category. Predictive Medicine seeks to forecast susceptibility to diseases with a view to their early diagnosis and prevention, as well as to improved prognosis and, eventually, treatment (cf. table V and VI).

The scale of the problems posed by the elucidation of the human genome and its medical implications is such that a world wide concertation of effort may be in order. This includes task-sharing (different teams, each taking on one chromosome or a part of it), mutual access to data bases, sharing genetic markers, widening the correlation between gene structure and clinical conditions, as well as technological developments in automated analysis.

The development of a significant European programme on the elucidation of the genome should make world collaboration easier.

The enormous increase in genetic information — or rather some uses which could be made of it — does raise ethical questions. Personal privacy must be weighed against general health care; the ability to diagnose disease may outrun the possibilities of treating it; misuse could be made of genetic information in the choice of employees or in establishing a premium for health insurance. These and many other issues must be given serious and continuous attention. In these as in other areas, the progress of science and technology should be accompanied and, where possible, anticipated by ethical, social, and legal considerations. In 1984, Japan pioneered action in this field when it proposed and hosted the First Bioethics Conference of the "Summit of the Most Industrialized countries". Earlier this week, Mr. Nakasone opened a conference on bioethics chaired by Prof. Okamoto.

Such "ethical" problems should indeed be discussed at the "world" level, and not only within individual countries or groups of countries. The whole of mankind is concerned. Moreover, widely diverging legislation could distort competition

among firms interested in the large market for high tech instrumentation and data banks which a widespread development of predictive medicine would create. On the other hand, the "culture" of each people must be respected when discussing such very delicate issues.

Having considered some problems posed by the increasing value and cost of research, it is worthwhile to examine a third set of problems

created by the very nature of present "Science and Technology", namely mutual interdependence and complexity.

As Nobel Prize winner Ilya Prigogine outlined in his Honda Prize lecture, the scientific approach to complexity (which he pioneered) marks the second half of this century and opens new perspectives for the next.

**Table V OBJECTIVE  
PREDICTIVE MEDICINE PROGRAMME  
(1989 - 1991)**

- STIMULATION OF BASIC RESEARCH ON THE HUMAN GENOME LEADING TO IMPROVED :
- PRENATAL DIAGNOSIS OF GENETIC DISEASES
- EARLY PREDICTION OF CERTAIN DISEASES
- IMPROVEMENTS IN PROGNOSIS AND, EVENTUALLY, TREATMENT

**Table VI PRIORITIES  
PREDICTIVE MEDICINE PROGRAMME  
(1989 - 1991)**

- 1/ ADVANCED GENETIC TECHNOLOGIES
  - HUMAN DNA COLLECTIONS
  - NEW PHYSICAL MARKERS (RESTRICTION ENZYMES OR HYBRIDIZATION PROBES)
  - PROBES FOR SPECIFIC GENETIC DISEASES
  - NEW DNA LABELLING SYSTEMS
  - AMPLIFICATION OF SPECIFIC GENES
  - NEW CLONING TECHNOLOGIES AND SHUTTLE VECTORS FOR HUMAN GENES
- 2/ STUDY OF THE HUMAN GENOME
  - PHYSICAL AND GENETIC MAPPING  
(ESPECIALLY OF GENES ASSOCIATED WITH PATHOLOGY AND IMMUNITY)
  - DATA HANDLING AND SOFTWARE DEVELOPMENT
- 3/ SETTING OF ORGANIZED HUMAN GENE LIBRARIES

Areas, which were too complex for science, can now be studied. Because of their very complexity, they often require international collaboration since the multiple and diverse competences involved or the huge number of data needed cannot always be found in a single country.

One such emerging area is Neurobiology. Mathematics, physics, chemistry, material and in-

formation sciences, molecular and cell biology, physiology, zoology, medicine, psychology, linguistics and philosophy all contribute to the understanding of the higher brain functions such as memory, language and problem solving. The brain has been the subject of intense interest since it was recognised as the anatomical basis of intelligence, thought and feelings. The scientific study of the brain began in the early part of the last century

when certain brain functions were pinpointed and the nervous tissue found to be composed of individual interconnected cells (neurons).

The brain of man is extremely complex. It contains more than  $10^{10}$  cells, connected in a highly structured pattern through more than  $10^{11}$  synapses. Information is processed through a series of highly nonlinear steps. In some key nerve centers a message is transmitted on the next relay only when the center itself receives a set of inputs coherent among themselves or with stored messages. Learning and memory occur through adaptive changes in cells, leading to more or less stable connections.

Much has been learned on the cellular and molecular physiology of the nervous system. Within neurons impulses are essentially carried as a wave of electrical depolarization of the nerve cell membrane. Between neurons, the message is transmitted by chemicals released at the extremity of a neuron and picked up at a "synapsis" by the receptors in the dendrites of adjoining cells.

Very many specific chemical and their receptors messengers have been identified. More are being discovered every year. The results of multiple messages on the behaviour of each cell is complex, since some messages re-inforce, others oppose each other. Repeated elementary contacts among cells could lead to learning by selective stabilization of the connection. The mechanisms that lead to such an assembly of billions of neurons into a very complicated system are only beginning to be understood.

Not only the components of the networks and their local interactions, but also the assembly structure and function of the networks must be elucidated.

Relative simple detailed models have been developed, which are amenable to mathematical treatment and experimental verification. At the other end of the scale macroscopic connections among the main structures of the brain are being described.

The observation of the brain in-vivo using scanners based on advanced physical methods has been possible since the 1970's and has now greatly expanded allowing more resolution in time and space. Computerized tomography, Nuclear Magnetic Resonance and infra-red spectroscopy as

well as electro encephalography, allow the study of the living brain and revolutionize the diagnosis and treatment of many diseases from epilepsy to arteriosclerosis, and brain tumors. Many of these developments have been possible by extensive transnational collaboration involving industry as well as universities and research institutions. I have myself been involved in one such development. It concerned a relatively simple and inexpensive system for monitoring of brain blood supply and function by non-invasive IR Spectroscopy.

The new physical methods not only open new perspectives for the diagnosis and treatment of many diseases; they permit the study of the nervous system, including some highly specific chemical events, in the living brain. They allow therefore to combine the molecular, cellular and holistic approaches.

Neurocomputing requires special attention. Since the 1940's, parallels have been drawn between the functioning of the human brain and computing machines. Up to now attempts to emulate the brain have proved largely unsuccessful. In recent years, however, interest for neurocomputing is rapidly increasing. In the United States federal institutes universities and private companies are making important financial commitments.

Scientists hope that, guided by an understanding of brain functions, they can build a neurocomputer — a computer which is structured like the brain and which, like the brain, can learn by itself. Though relatively slow and quantitatively limited, the brain processes information with great efficiency, and it is envisaged that neurocomputers would be vastly superior to conventional machines. The brain differs from ordinary computers in several important ways including the ability to carry out simultaneous processing, connective learning and active reasoning. While computers have been trained to play chess at world level or to rediscover physical principles, they are a long way from being considered "intelligent", or provided with human-like intuition, not to mention "feeling" and "awareness".

An illustration of the diversity of skills of the human brain comes from an observation by the Japanese neurologist SASANUMA quoted by J.P. Changeux, of the Pasteur Institute, in his book

"The Neuronal Man". Vascular lesions on the left brain impair the use of the Kana alphabet much more than that of Kanji ideograms. The reverse is reported for lesions of the right side. It seems that the left brain develops skills in dealing with phonetic, linear, combinatory information, while the right hemisphere performs rather holistic functions and image recognition. As I once had the privilege of discussing with Prof. Okamoto, it is tempting to speculate as to the effects which training of both hemispheres in young Japanese may have in their future activity.

Could they be better prepared to cope with the holistic recognition of complex images and hence to deal with complex systems?

European laboratories are very active in neurobiological research and have to their credit several important discoveries.

The Commission of the European Communities has been supporting joint neurobiological research, and in particular the study of intercellular communication since 1984. The BRAIN (Basic Research on Adaptive Intelligence and Neurocomputing) initiative was launched in 1987.

- The development of connectionist models for neurocomputing — a mathematical way of simulating the brain's calculating capacity
- The design of a neurocomputer with learning abilities
- The study of the use of neural networks for data processing
- The determination of the level of complexity necessary for a computer to start to function in a similar way to the brain
- The study of the neural networks determining the relationship between the brain and the eye movement
- The study of dynamic connectionist models for the recognition of designs and graphs
- The investigation of sensorimotor strategies involved in visually guided arm movements in a view of possible application
- Application to robotics and computer vision
- The study of the basic operations involved in the cerebral cortex of primates in controlling a reaching movement.

Japan, besides promoting a multidisciplinary approach to neuroscience at home, has proposed it as a major area to be developed at the international level, in the frame of the Human Frontier

Science programme. It is indeed a wise choice which could lead to significant progress through mutually advantageous sharing of tasks and pooling of research results on a subject of enormous complexity and of enormous interest. A successful development of the initiative will of course require a fair balance of giving and taking.

So far we considered cases where the usefulness of international collaboration is related to the size of the required research installations (as in the case of "fusion") or to the large amount of information to be collected and analyzed (as in the case of "genome" and "brain" research). It is worth now considering a problem which has a claim to broad international collaboration, because it is extremely complex, it requires large and expensive devices and, by its very nature, it concerns the whole world. I refer to the study of the global climate change.

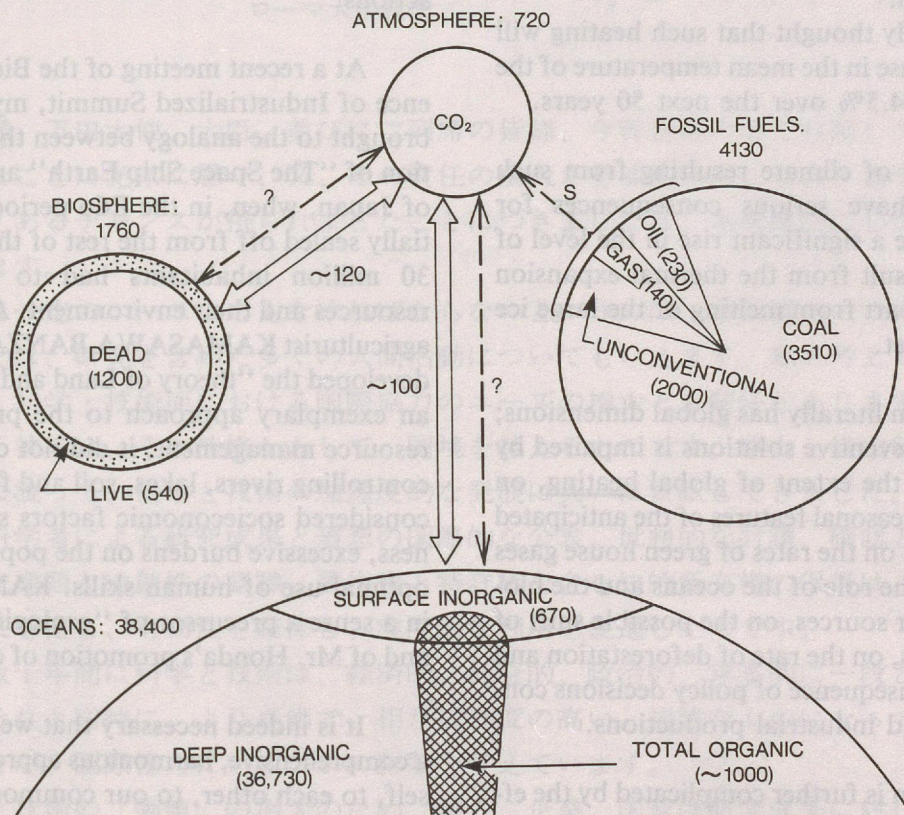
Environment results from the complex interaction of very many complicated sub-systems: the sun, the planet earth, the moon, the stratosphere, the atmosphere, soil, inland water, the sea, the biosphere and, more recently, human activities. Each must be analyzed and the mutual interactions of each component with the others must be studied in an integrated "system". A scientific approach to a problem of this complexity would have been unthinkable a few decades ago. Progress in mathematics, physics, chemistry, biology and analytical methods (including remote sensing from space), as well as the huge present capacity to store and analyze information by advanced computing now make this approach possible.

Burning of coal and oil produces increasing amounts of carbon dioxide. Although the oceans, through complex processes involving phytoplankton, fix some of it, large quantities of carbon dioxide accumulate in the atmosphere, which now contains 15 — 20% more of this gas than in the preindustrial era. To make things worse, deforestation reduces natural recycling of CO<sub>2</sub> by terrestrial green plants. The CO<sub>2</sub> cycle is schematically represented in fig. 5.

Some of the solar energy which reaches the earth is radiated back into space as infra-red light. The presence in the atmosphere of excess CO<sub>2</sub> which is not transparent to infra-red light, reduces this irradiation. The corresponding energy is thus

### Fig.1 Carbon Pools and Fluxes

Global carbon pools and annual fluxes. Sizes of pools (circles) and annual fluxes (arrows) are shown in gllatons of carbon. Dotted arrows represent additional fluxes due to human activities. Pool sizes are in true relative proportions, illustrating the relative dominance of oceans, and the "dead" biosphere (soil, humus) in the active carbon cycle.



Activity	Gt C/year	Pools	Quantity (Gt)a
Forest clearing in the Third World	+ 3.6	Atmosphere	720
Industrial use of wood	+ 0.3	Oceans	38,400
Firewood	+ 0.3	Total Inorganic	37,400
Soil organic matter decomposition	+ 0.6	Surface layer	670
Reforestation	- 0.3	Deep layer	36,730
Regrowth in the tropics	- 1.0	Total organic	1,000
Regrowth in temperate regions	- 0.5	Terrestrial biosphere	1,760
Growth stimulation by CO <sub>2</sub>	- 0.3	Live	560
growth stimulation by NO <sub>x</sub>	- 0.2	Dead	1,200
Total	+ 2.5	Fossil fuels	4,130
		Coal	3,510
		Oil	230
		Gas	140
		Unconventional	250
		Gross fluxes per year	
		Atmosphere-ocean	100
		Atmosphere-land	120
		Fossil fuel combustion	5

One gllatton of carbon (GT C) = 10<sup>15</sup> grams  
pool estimates rounded to nearest 10 Gt.

(WILLIAM C. CLARK AND CEC)

trapped as heat in the lower atmosphere and the planet is transformed into a gigantic green house. Besides CO<sub>2</sub> the accumulation in the atmosphere of other "green house" gases such as methane, nitrous oxide and fluorocarbons also contributes to this phenomenon.

It is generally thought that such heating will produce an increase in the mean temperature of the Globe of 1.5 to 4.5% over the next 50 years.

The change of climate resulting from such heating would have serious consequences for agriculture, while a significant rise in the level of the sea would result from the thermal expansion of the oceans, apart from melting of the large ice caps of the planet.

The problem literally has global dimensions; the search for preventive solutions is impaired by uncertainties on the extent of global heating, on the regional and seasonal features of the anticipated climatic changes, on the rates of green house gases production, on the role of the oceans and the biosphere as sinks or sources, on the possible shift of bioclimatic zones, on the rate of deforestation and finally on the consequence of policy decisions concerning energy and industrial productions.

The problem is further complicated by the effects of other industrial discharges, such as those presumably connected with ACID RAINS which affect forests and the cycle of OZONE; the presence of this gas in the stratosphere shields the earth from U.V. light.

The main research requirements have been established, notably by the International Geosphere and Biosphere Programme of the International Council of Scientific Union, which issued a comprehensive paper at its September '88 meeting in Stockholm.

Eventually thousands of researchers and huge technological and financial means should be mobilized. Work should be well coordinated in order to be efficient and timely. Carrying out this work is a challenge to all concerned: scientists, technologists, industrialists and public authorities. The

results of such a global study are badly needed in order to make the right decisions in environmental protection. In the absence of sound scientific knowledge, policies may be misguided and could improve unnecessary burdens while neglecting key actions.

At a recent meeting of the Bioethics Conference of Industrialized Summit, my attention was brought to the analogy between the present situation of "The Space Ship Earth" and the situation of Japan, when, in the Edo period, it was essentially sealed off from the rest of the world and its 30 million inhabitants had to husband their resources and their environment. At that time, an agriculturist KAMASAWA BANZAN (1659 — 91) developed the "theory of Land and Water". It was an exemplary approach to the problem of wise resource management; it did not confine itself to controlling rivers, lakes, soil and forests, but also considered socioeconomic factors such as lawlessness, excessive burdens on the population and the optimal use of human skills. KAMASAWA was in a sense a precursor of "ecological economics" and of Mr. Honda's promotion of eco-technology.

It is indeed necessary that we all jointly seek a comprehensive, harmonious approach to our own self, to each other, to our common environment.

The research areas we discussed today as possible objects of international collaboration refer to this need.

Research on the human genome and on neurobiology should lead to a better understanding of what each of us is, while the study of the global climate change and the search for clean energy through nuclear fusion should make us aware of the impact which our actions have on the environment we share.

The decision of Mr. Honda, one of the leading world industrialists, to promote environmental-friendly technology is indeed most significant. I know that many people and leaders on both sides of the Pacific and of the Atlantic share his vision.

## 科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察

EC委員会第Ⅳ総局長  
ローマ大学教授

パオロ・マリア・ファゼラ

本田様、下田大使、大臣、並びにご列席の皆様、今宵皆様の前でお話しできますことを、まことに光栄に思い、又、その責任の重大さを痛感いたしております。このような栄えあるチャンスが得られましたことにつきましては、本田財団に心からお礼申し上げます。

技術は一定のニーズに応えなければならないというのは、本田様の一つの信条です。同じことは、研究を含めた多くの人間活動についてもいえます。私の考えでは、この言説は、科学・技術面における国際協力のニーズの増大とも関係があります。

科学と技術は、その性格からして、国境を越えるものです。協力と自由競争は過去3世紀に渡って、科学と技術の加速度的な発展に大いに貢献してきました。

同僚科学者による研究成果と着想の国際的な公表、批判的な討議、確認と利用、さらに優先課題と独創性の認識、著作権と特許権を含む知的所有権の保護は、科学と技術の成長を促し、有効性を確保し、実際的な利用を促進したのです。

過去数十年間に科学と技術は、経済的、社会的、政治的、軍事的に一段と重要性を増し、それと同時に、より高価で、相互依存度の高い、複雑なものになってきました。このことが、国際協力にいくつかの影響を与えています。

科学と技術の「価値」の増大のため、個人、企業、国家は研究成果に対し一段と警戒的になり、又、経済・軍事的な理由から、その自由な普及は制約を加えられるようになります。

開放性の利点を失わないまま保護を確かなものとするためには、新しい制度が必要なのでしょうか。特許権や著作権の法律は、改正すべきでしょうか。

研究という分野において、協調と競争のバランスを適切に保つとは、どういうことなのでしょうか。技術の二重使用が引き起こすインパクトとは、如何なるものなのでしょうか。

これらの問題は1987年開催のOECD（経済協力開発機構）閣僚会議で取り上げられ、現在その分析が行われているところです。研究「コスト」の上昇は当然、伝統的な「科学者間」の相互影響を越える国際協力の発展を促しました。実際、個別プロジェクトのあるものは資金的に非常に高くつき、知識やノウハウに関する要求が質量ともに非常に厳しくなったため、国際協力が「必要不可欠な条件」となったのです。このことは、先進国ではあるが、単独では巨大なプロジェクトを手掛ける程の力量を持たない西欧各国にとって、特に必要なことになってきたのです。

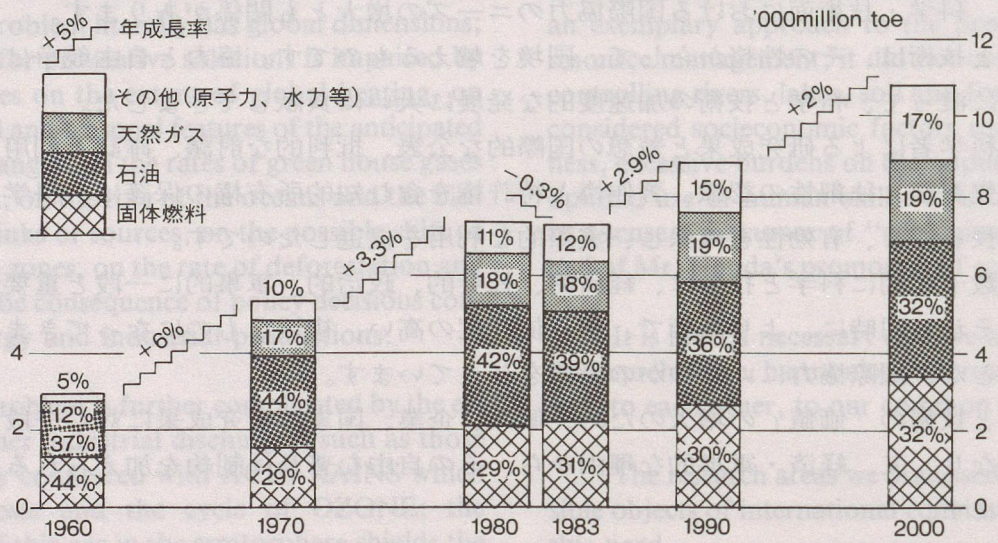
欧州のプロジェクトの成功例としては、分子 $Z^0$ 、 $W^+$ 、 $W^-$ の存在を最近証明したCERN（セルン：ヨーロッパ原子核共同研究所）や、西ヨーロッパを宇宙に参入せしめたARIANEを挙げることができます。

おもしろい例として、「欧州共同体（E C）の核融合抑制プログラム」があります。E C加盟12ヶ国、それにスウェーデンとスイスは、この非常時に野心的で、長期的で、困難であるが同時に非常に有望な計画を、共同で推進することに決めました。その究極の目標は、安価で、何処でも利用可能な、環境と調和するエネルギー源の開発にあります。本田賞受賞者のU・コロombo氏と西澤氏は、エネルギー需要に対する長期供給対策に向けての核融合抑制策推進事業に、共に携わって下さることになっております（比較参照：図1）。

図1 エネルギー2000

西暦2000年におけるE Cおよび全世界に関する基準予測および第二予測

世界の総エネルギー消費  
(エネルギー源別)



世界の総エネルギー消費  
(地域別)

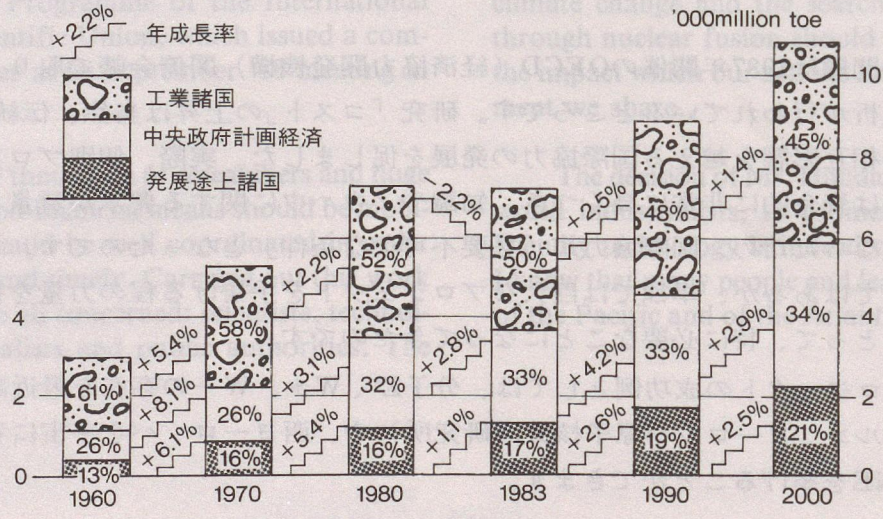
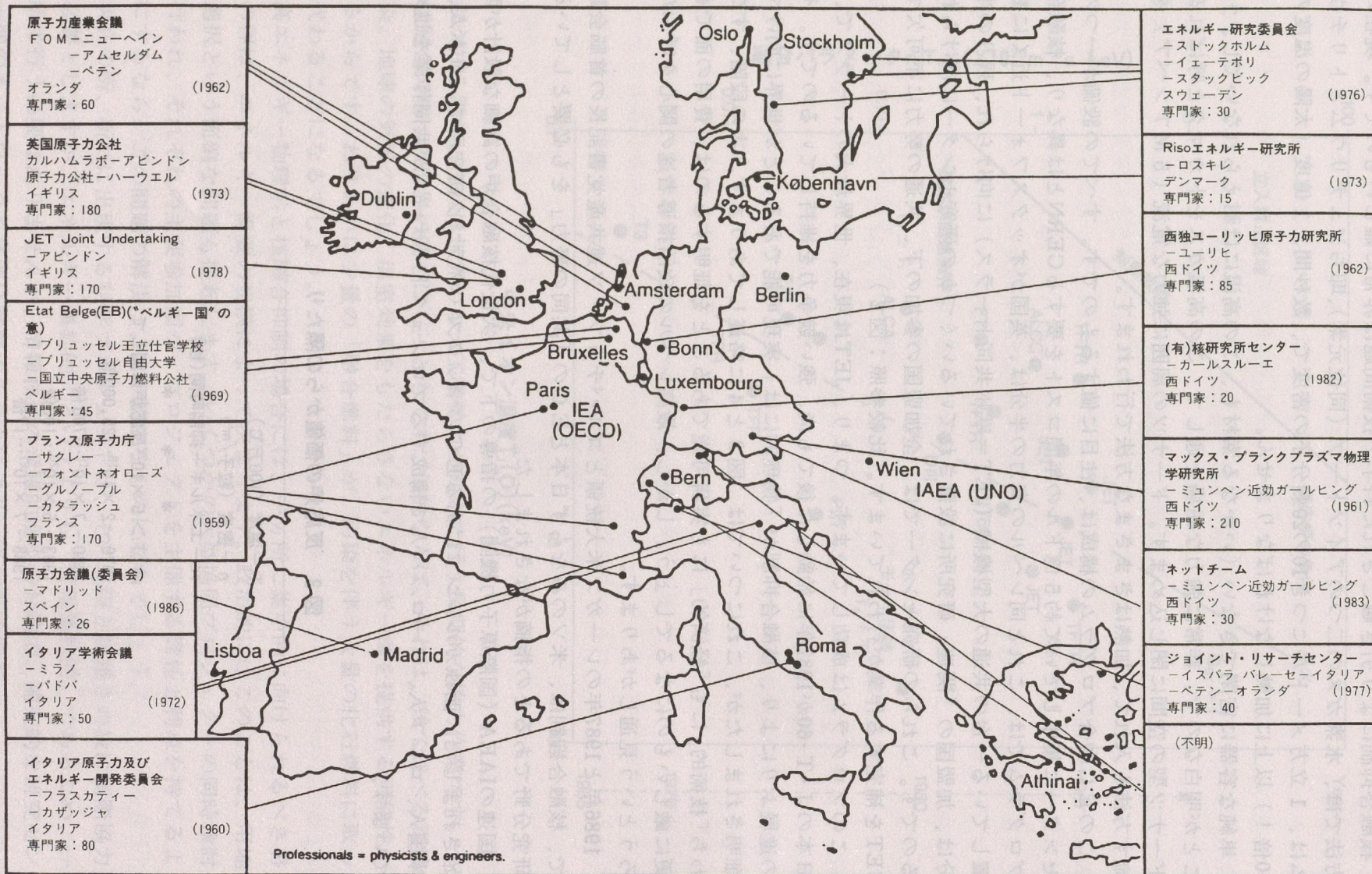


図2 ヨーロッパにおける核融合研究所所在地



核融合抑制により引き越こされた科学・技術問題は非常に難しいものです。現在の方法では、水素ガスの二つのアイソトープ（同位元素）、即ちジュテリウムとトリチウムは、1立方メートルにつき10の20乗分子の密度で、数秒間、1億度（太陽の温度の10倍！）以上に加熱しなければなりません。

単純な容器に密閉できない（いかなる素材も、この高温には耐えられないでしょう）ことが明白なので、非常に強力な磁場を通して、この高温ガスをトカマクと呼ばれるドーナツ型の空間に閉じ込めます。ドーナツの周囲に強力な電流（5Mアンペア）を流す方法も入れて、加熱はさまざまな方法で行われます。

このEC融合プログラムの構成は、注目に値するものです。すべての設備が一つのセンターに集中していて約5億ドルの年間コストを要するCERNとは異なり、核融合プログラムでは、これと同レベルの資力の半分は、英国がオックスフォード近くに設置している一台の共通の大型機械（JET=欧州共同トラス）に向けられ、残りの半分は、加盟国の「関連」研究所に設置されているいくつかの研究センターに向けられるのです。これらの研究センターでは、全加盟国の参加の下、共通の努力に不可欠で、JETを補完する作業が行われています。（比較参照：図2）

このプログラムは成功しています。つまり、JETは現在、世界最大のトラスで、日本のJ・T・60が1987年に始動した後でも尚、強い競争力を維持しているのです。その進展ぶりにより、核融合抑制が「物理的には」実現可能であることが世界に向けて証明されましたが、これについては、図3と4に略述してあります。次の段階、すなわち「技術的」にも「経済的」にも実現可能であることを証明するのは、費用の面でも、更に厳しいものになるでしょう。しかし、最高レベルの政治指導者達の関心と呼ぶだろうという見通しがあります。

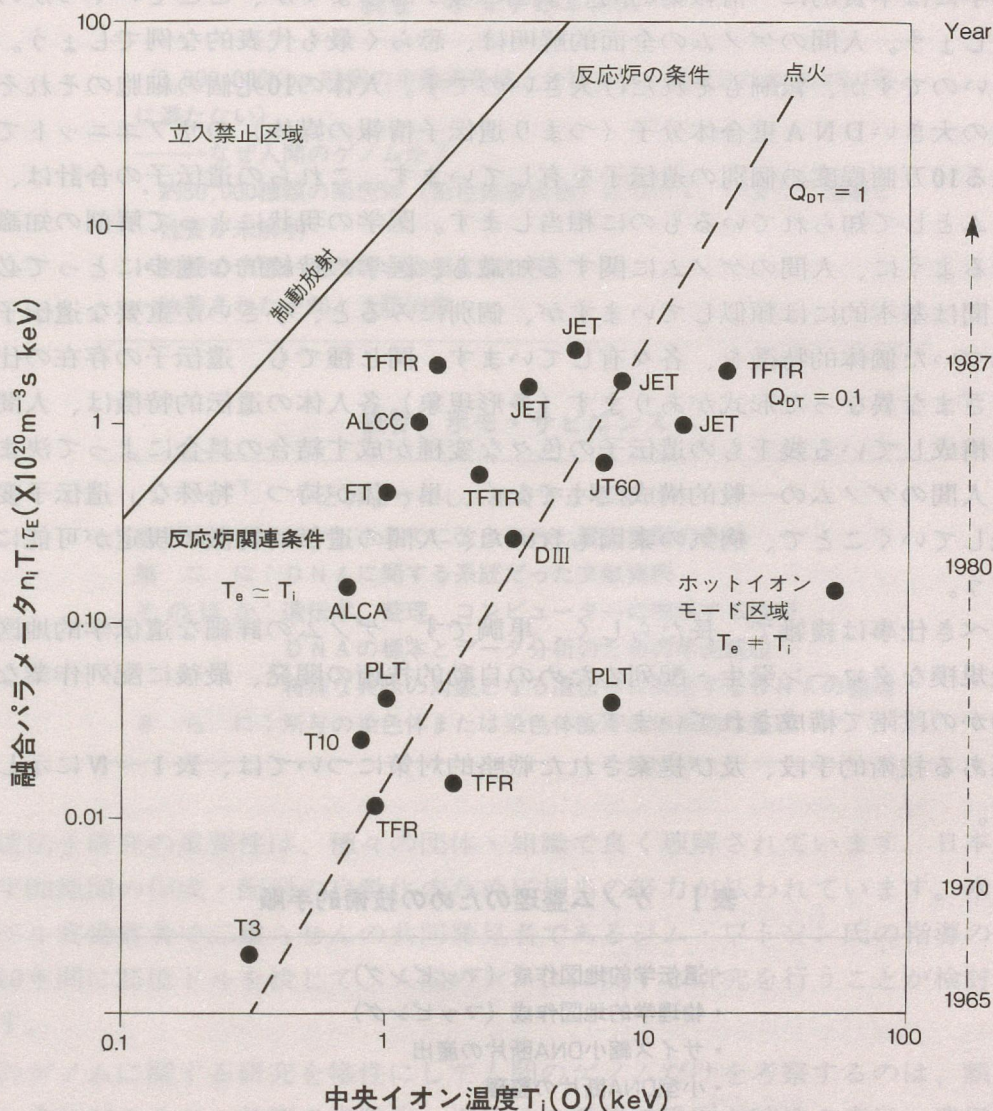
1986年と1987年のレーガン米大統領とゴルバチョフ・ソ連共産党書記長の首脳会談で、核融合抑制は、米ソのみならず日本とECの「共同の努力」をも必要としている研究分野であるとの指摘がなされました。

国連のIAEA（国際原子力機関）の指導の下で、次世代核融合炉の詳細な設計が開始されました。西独ガルシンクにあるECのマックス・プランク研究所で、日本人、米国人、ロシア人、ヨーロッパ人で構成するプロジェクト・チームが共同作業を進めています。

図3 反応炉の価値からの隔たり

$T_i$	温度 (100万℃)
$n$	密度 (粒子/ $m^3$ )
$\tau_E$	エネルギー抑制時間(秒)
	* * *
$n\tau_E T_i > 5 \times 10^{22}$	反応炉に関して
1970	~ $2 \times 10^{18}$ ...25,000倍
1980	~ $7 \times 10^{19}$ ...700倍
1983	~ $5 \times 10^{20}$ ...100倍
1988	~ $7 \times 10^{21}$ ...17倍

図4



私が知る限り、これは世界の4大工業勢力が初めて行う長期的な協力作業です。

核融合抑制への世界の関心はもっともです。何故ならば、それは、後で述べる環境汚染、地球の気候の変化、温室効果をもたらさないエネルギー源を提供する可能性があるからです。わりあい少量の「融合燃料」が、汚染を伴う大量の化石燃料に取って代わることになるでしょう。

高エネルギー物理学と核融合抑制の場合には、一カ所に集中的に向けられるべき努力の程は、エネルギー需要の規模によって決まります。政治的にはこのことは、用地の選択という面倒な問題も提起します。いくつかの大型協同プロジェクトの同時検討が行われ、それぞれの主要参加国が、プロジェクトを主催する責任と利点を持つるようになるなら、この問題の解決は、より簡単なものになるでしょう。

現在の所、新たに出現する科学プロジェクトは、その規模と複雑さの故に国際協力を必要としますが、「エネルギー集約的」というよりも「情報集約的」であるため、一カ所で行う必要はありませんが、情報技術の飛躍的進歩のお陰で、補完的な研究センター間のネットワークを高度に調整することにより、遂行可能です。

生物学には本質的に「情報集約的」なところがありますが、ここでいくつかの例を挙げましょう。人間のゲノムの全面的解明は、恐らく最も代表的な例でしょう。困難は大きいのですが、報酬もそれだけ大きいのです。人体の10兆個の細胞のそれぞれは、約30億の大きいDNA重合体分子（つまり遺伝子情報の媒体）のサブユニットで記号化される10万個程度の個別の遺伝子を有しています。これらの遺伝子の合計は、人間のゲノムとして知られているものに相当します。医学の現状にとって解剖の知識が必要であるように、人間のゲノムに関する知識も、医学の持続的な進歩にとって必要です。人間は基本的には類似していますが、個別にみると、小さいが重要な遺伝子内差異に基づいた個体的特徴を、各々有しています。同じ種でも、遺伝子の存在の仕方にはさまざまな異なった形式があります（多形現象）。各人体の遺伝的特徴は、人間のゲノムを構成している幾千もの遺伝子の色々な変種が成す結合の具合によって決まるのです。人間のゲノムの一般的構成だけでなく、単一体が持つ「特殊な」遺伝子変種をも解読していくことで、病気の素因も含めた、人間の遺伝的特徴の規定が可能になるでしょう。

やるべき仕事は複雑で、長たらしく、単調です。ゲノムの詳細な遺伝学的地図の作成、大規模なクローン発生・配列のための自動的技術の開発、最後に配列作業など、いくつかの段階で構成されています。

関係ある技術的手段、及び提案された戦略的対策については、表Ⅰ～Ⅳに示してあります。

表Ⅰ ゲノム整理のための技術的手順

- 
- ・ 遺伝学的地図作成（マッピング）
  - ・ 物理学的地図作成（マッピング）
  - ・ サイズ縮小DNA断片の産出
  - ・ 小型DNA断片の整理
  - ・ データ処理
  - ・ 整理技術の開発
  - ・ 構造—機能の関係を支配する分子規則
  - ・ 医学農業工業における応用
- 

表Ⅱ 政策的ガイドライン

- 
- ・ 人間のゲノムを取り扱う前の必須手続きとしての小型ゲノムの整理
  - ・ 中央管理アプローチよりはネットワークアプローチが好ましい
  - ・ どうであろうと日付及びDNA物質の貯蔵容器の中央管理が必要である。
  - ・ 発生（遺伝）と整理とコンピューターに関する技術を平行して開発する必要がある
  - ・ 最近発見された遺伝子の物理学的機能の研究には「小科学」が不可欠
  - ・ 研究活動と訓練を結びつけるとよい
  - ・ 世界規模の連絡、協力関係を促進すべきである
-

表Ⅲ ホモサピエンス

(3,000,000Kbp-23個の半数染色体—今日までに整理されたのは0.1%  
に満たない)

→なぜ人間のゲノムか？

- ・約50,000種類の染色体（染色体産出物）について、いまだに機能と性質が未解明
- ・初期の予言／遺伝病の治療について
- ・改善された予知と予防治療

表Ⅳ ホモ・サピエンス

→どのようにして取りかかるか？

まず始めに：10から1までに改良された遺伝地図の分析

第 二 に：DNAに関する系統だった文献資料

そのほか：遺伝学、整理、コンピューターに関する技術

DNAの標本とデータ分析のための中央施設

特殊な興味の対象となる遺伝子に対応するDNAの整理

さら に：所与の染色体または染色体断片の体系的な整理

人体遺伝子研究の重要性は、種々の団体・組織で良く理解されています。日本では、遺伝学的地図の作成・配列の自動化のために相当の努力が払われています。米国では、ノーベル賞受賞者で二重らせんの共同発見者であるジム・ワトソン氏の指導の下で、今後10年間に35億ドルを投じて、人間のゲノムに関する研究を行うことが検討されています。

他のゲノムに関する研究を犠牲にして人間のゲノムだけを考察するのは、誤りでしよう。それどころか、技術の自動化、遺伝子の機能の重要な特性の表示、遺伝子組織、遺伝子の進化に関するいくつかの基本的な問題については、小さなゲノムの連鎖からの方が容易に答えを引き出せるのです。西欧の多くの研究所では、様々な角度からゲノム研究を行っていますが、国家計画の規模は、最大級の場合でさえも、問題の規模に対応するには十分でないのです。人的・経済的資源の共有、仕事の分担、重複の回避、共通のデータベース、互換性のある生物情報科学が、ゲノム分析の基になる膨大な量の情報を収集、分析するために必要なのです。

プログラムの一つの重要な部分に関し、「予知医学」という名の下に研究が進められています。1987年本田賞と1980年ノーベル賞を受賞したジャン・ドーセ氏はこの新企画の推進者ですが、最近、「予知医学は予防医学の最初の活動である」と述べました。プログラムの目的は、病気に関係する遺伝子を確定し、その分離と構造分析を行うことにあります。多くの病気には遺伝的要素があります。病気は、欠陥のある単一の遺伝子（単要素的）による遺伝、又は複数の遺伝子疾患と環境要因（多要素的）との相互作用に起因することがあります。動脈系の病気、糖尿病、主要な精神病などの多くの衰弱性の病気は、後者の分類に入ります。予知医学は予後の開発はもとより、早期

診断・予防策、最終的には治療を目的として、病性を予測することを目指しています。(比較参照：表V、VI)

人間のゲノムの解明とその医学的な意味合いが提示する問題の規模の大きさからして、国際的協力を図る必要がありますが、この協力の範囲は、仕事の分担(様々なチームを作り、各チームが各々一つの染色体の一部の研究に取り組む)、データベースの相互アクセス、遺伝子マーカーの共有、遺伝子構造と臨床条件の相関関係の拡大、更には自動分析の技術開発の拡大にまで渡っています。

ゲノムの解明にとって重要な欧州のプログラムの進展は、国際協力を容易にしましょう。

表V 客観的な予測医学プログラム  
(1989-1991)

人間ゲノムについての基礎研究を促進し、つぎの諸点の改善を実現する：

- ・ 遺伝病に関する誕生以前の診断
- ・ ある種の病気の早期予測
- ・ ある種の病気の早期予測
- ・ 予知、また場合によっては治療の改善

表VI 優先項目

予測医学プログラム  
(1989-1991)

1. 最先端の遺伝子工学技術
  - ・ 人体のDNA摂取
  - ・ 新物理学標識(制限酵素または雑種形成プローブ)
  - ・ 特殊遺伝病用プローブ
  - ・ 新DNA標識づけシステム
  - ・ 特殊遺伝子の拡大
  - ・ 新クローニング技術と人間の遺伝子のためのシャトルベクトル
2. 人間ゲノムの研究
  - ・ 物理学的・遺伝学的地図作成(とりわけ病理および免疫に関係する遺伝子について)
  - ・ データ取扱いとソフトウェア開発
3. 人間の遺伝子に関する系統だった文献資料の保管

遺伝情報の大幅な増加—またはむしろ、この情報の増加により実現され得る、幾通りかの利用法—は、倫理的な問題を提起します。一般健康管理を念頭に置きながら、尚、個人のプライバシーは大切にされなければなりません。というのは、病気を診断する能力が治療の可能性を上回るかも知れないし、また、従業員雇用の際、あるいは健康保険料の算定の際に、遺伝情報が誤用・乱用される可能性があるからです。これらおよびその多くの問題に、持続的でひたむきな注意をはらわなければなりません。これらおよびその他の領域における科学と技術の進歩には、倫理的、社会的、法律的配慮が伴っていなければなりません。1984年に、日本は「先進国首脳会議」で初めて

の生命倫理会議を提案・主催して、この分野でパイオニア的行動を起こしました。その週の初めに、中曽根氏は、岡本教授を議長に据えて、生命倫理に関する会議を開催しました。

このような倫理的な問題は、個別の国、あるいは複数の国々においてというのではなく、世界的なレベルで討議すべきです。全人類が関係しているのです。さらに、大きく異なる立法措置は、企業間の競争—予知医学の広範な発展により形成されるハイテク機器・データバンクの一大市場に関係を有する企業間の競争—を歪めてしまう可能性があります。一方、このような非常にデリケートな問題を論じる際には、各国の「文化」に対する敬意を忘れてはなりません。

これまで、研究の価値とコストの増大がもたらすいくつかの問題について考察してきましたので、次に現在の科学と技術の性質が引き起こす第3の問題点について検討するのも意味があると思います。

ノーベル賞受賞者のイリヤ・プリゴジン氏が本田賞講演で述べられたように、(同氏が先駆者となった)複雑さへの科学的アプローチは今世紀後半の特徴であり、21世紀への展望を開くものです。

複雑すぎた科学の領域も、今や研究が可能で、それらの領域は、非常に複雑であるが故に、しばしば国際協力を必要とします。研究に必要な多重かつ多様な能力あるいは膨大な量の必要データが、必ずしも単一の国に存在するとは限らないからです。

このような領域の一つに、神経生物学があります。数学、物理学、化学、物質・情報科学、分子・細胞生物学、生理学、医学、心理学、言語学、哲学はすべて、記憶、言語、問題解決といった高度な頭脳機能を理解するのに役立っています。頭脳は、知性、思考、感情の解剖学的基盤とみなされていたため、大きな関心を集めるテーマでありました。頭脳の科学的研究は、19世紀初頭に始まりました。その時、一定の頭脳活動が明確になり、神経組織が、相互に関連し合う個別の細胞(神経単位)から成ることが発見されたのです。

人間の頭脳は極めて複雑です。頭脳は10の10乗以上の細胞で成り立っており、又、この細胞は、10の11乗以上のノイロン接続によって高度に構成されたパターンに連結しています。情報は、一連の非直線的な高度のステップによって処理されます。一部の重要な神経センターでは、センター自体が、凝集性のある一連のインプットを受けた時のみ、あるいは蓄積されたメッセージがある場合にのみ、メッセージが他の中継組織に伝達されます。学習と記憶は細胞内の適応変化によって生じ、多かれ少なかれ安定した結合につながるのです。

神経系統の細胞・分子生理学の分野では、盛んな研究が行われました。ノイロンの中では、衝動は、主に神経細胞膜の電気消極で生じる波として伝達されます。ノイロン同志の間では、メッセージはノイロン末端部で放出される科学物質で伝達され、その後、隣接細胞の樹状突起内の受体により、「シナプス」の所に集められます。

特別な化学物質とその受容媒体が、すでにたくさん確認されましたが、更に年々別種のもので発見され続けています。各細胞の行為に関する複合メッセージについて言えば、あるメッセージは増大し、別のメッセージは互いに対立し合うため、その結果は複雑なものになります。細胞間で繰り返し起こる接触は、前記の脈絡の中で行われ

る選択の安定化を通して、学習へと導かれる可能性があります。何十億ものノイロンでこのような一つの組合せを作り、それをやがて複雑なひとつのシステムに仕上げるメカニズムを、まず最初に理解しておかなければなりません。ネットワークのコンポーネントやその局部的相互作用のみならず、ネットワークの組成構造や機能も解明されなければなりません。

以上との関連で、単純で詳細なモデルが開発されましたが、これは、数学的処理や実験論証を行うのには、ふさわしくありません。しかし、スケールの面から言えば、脳の主要構成部門における巨視的關係を解明し得るものです。

先端物理学のスキャナーを利用した生体内頭脳の観察は、1970年代から可能になっており、現在では相当な進展を遂げ、時間的にも空間的にもより有効な分析が可能になりました。電気による大脳撮影法のみならず、コンピューターを利用したトモグラフィ（断層撮影法）、NMR（核磁気共鳴診断装置）、赤外線利用の分光学などは、生きた頭脳の研究を可能にし、てんかん（癲癇）から動脈硬化、脳腫瘍に至るまで、多くの病気の診断と治療に革命的变化をもたらしました。これらの開発の大部分は、大学や研究機関はもとより、産業界も含めた広範な国際協力によって可能となったのです。私自身も、この種の開発の一つに係った経験があります。その開発は、比較的単純で安価な、頭脳の血液供給と機能を非潜侵的IR分光学で監視するシステムに関連したものでした。

新しい物理学的方法は、多くの病気の診断と治療に画期的な変化をもたらすだけではありません。非常に特殊な化学的な事象を含め、生体頭脳の中の神経系の研究をも可能にし、従って、分子・細胞に関する又、全体論的な研究方法の統合をも可能にするのです。

ニューロコンピューティングには、特に注目する必要があります。1940年代以来、人間の頭脳の機能とコンピューターの比較がなされてきました。これまでのところ、頭脳に対抗しようとする試みは、概して失敗に終わっています。しかし、近年、ニューロコンピューティングへの関心は、急速に高まっています。米国では、連邦政府機関、大学、民間企業が重要な資金提供の確約を行っております。

科学者たちは、頭脳の機能を理解することによって、頭脳と同じ構造をもち頭脳と同じように自ら学習することのできるコンピューター、即ち、ニューロコンピューターを製造したいと思っているのです。比較的緩慢で量的にも限界がありますが、頭脳は非常に効率良く情報を処理します。ニューロコンピューターは、従来のコンピューターよりもはるかに優れたものになると考えられています。頭脳は、同時処理、結合学習、能動推論の能力を含め、いくつかの重要な点で、通常のコンピューターとは異なります。世界的なレベルでチェスを行ったり、物理学の原則を再発見するようにコンピューターを調整することはできますが、「インテリジェント（知的）」であると見なす存在には遠く、「感情」や「意識」は言うまでもなく、人間のような直視力は備えていないのです。

人間の頭脳の技術的多様性を示した1枚の図がありますが、これは日本の神経学者笹沼氏の観察により作成されたもので、パスツール研究所のJ.P. Changeux氏の著書「ニューロナール人間」(仮訳)の中でも引用されたことがあるものです。左脳の血管

障害は、漢字・表意文字の使用よりも、かな・アルファベットの使用に支障をきたします。右脳に関しては、逆の報告が成されています。左脳は、音声的・線的・結合作業的情報の操作技術を発達させ、これに対し右半球は、全体的・形象認識を行わせるように思われます。私は以前、岡本教授と議論する光栄に浴した事がありますので、日本の若者の左右両頭脳を将来訓練した場合の効果について推測してみるよう、目下誘いをかけているところです。彼らに複雑な形象を全体的に認識できるよう、より良い訓練を施し、更にはそれに基づいて複雑なシステムを処理できるよう訓練を施すことは可能でしょうか。

欧州の研究所は、神経生物学の研究を非常に活発に行っており、賞賛に値するいくつかの重要な発見をしています。

EC委員会は、1984年以来、細胞間コミュニケーションの研究を中心に、神経生物学の協同研究を支援しています。1987年にはBRAIN計画(適合インテリジェンスとニューロコンピューティングに関する基礎研究)が始まりました。

- ニューロコンピューティングのための結合モデルの開発、即ち頭脳の計算能力を真似る数学的方法。
- 学習能力をもつニューロコンピューター的设计。
- データ処理のための神経ネットワークの利用に関する研究。
- コンピューターが頭脳と同じように機能し始めるために必要な、複雑さの度合いの確定。
- 頭脳と眼の動きの関係を決定する神経ネットワークの研究。
- デザインとグラフの認識のためのダイナミック結合モデルの研究。
- 視覚的に導かれる腕の動きにかかわる感覚運動の戦略に関する、応用化レベルでの研究。
- ロボット工学とコンピューター視覚への応用。
- 到達運動を制御する、霊長類の大脳皮質に関係する基礎的運動の研究。

日本は、国内で神経科学に対する学際的アプローチを推進する一方、ヒューマン・フロンティア・サイエンス計画の枠組みの中で、そのアプローチを国際的に発展させることを提案しました。これは、非常に複雑でかつ興味深いテーマに関し、相互に利益のある分担作業と研究成果の共有を通じて大きな進歩へと向かう賢明な選択であると思います。スタートの段階で成功したら、むろん、ギブ・アンド・テイクが公正に行われるようにしなければならないでしょう。

これまでわれわれは、「融合」の場合のように)研究施設の大きさと関連で、又は(ゲノムや頭脳の研究のように)収集・分析されるべき情報の膨大な量との関連で、国際協力の必要な場合について検討してきました。ここで、極端に複雑で、大規模で高価な装置を必要とし、その性質故に全世界に関係するため、広範な国際協力を要する問題について検討することが有益であると思います。その問題とは、地球の気候の変化です。

環境は、非常に多くの複雑なサブシステムの複雑な相互作用から生まれたものです。そのサブシステムには、例えば次のようなものがあります：太陽、惑星としての地球、月、大気、土壌、陸地の水、海、生物圏、更に最近では人間の行動。このサブシステ

ムのそれぞれについて分析を行い、更に、サブシステム同志の相互作用を、統合的システムで研究しなければなりません。これほど複雑な問題への科学的アプローチは、2,30年前には考えられなかったことでしょう。先端のコンピューターにより飛躍的に増大した目下の情報収集・分析能力のみならず、数学・物理学・化学・生物学・(宇宙からの遠隔探査を含む) 分析的手法の分野での発展が、今や、このアプローチを可能にしているのです。

石炭と石油の燃焼により、炭酸ガスの量は増え続けています。海洋は、植物プランクトンなどの複雑な過程を通じて、この炭酸ガスの量のある程度一定にしようとしませんが、にもかかわらず、大量の炭酸ガスは大気中に蓄積され、今や大気中の炭酸ガスは、工業化以前の時期に比べて、15~20%も増えています。事態を更に悪化させているのは森林破壊で、このため地球の緑樹による炭酸ガスの自然還流機能は落ちているのです。

炭酸ガス・サイクルは、図式的に表示してあります。

地球に達する太陽エネルギーのうち、幾分かは赤外線として大気圏外へ反射されることになっておりますが、赤外線の通過を阻止する、大気中の過剰な炭酸ガスが、この放射を弱めてしまいます。そのため、この放射のエネルギーは熱となって、大気の低い層に閉じ込められ、惑星は巨大な温室に化するという訳です。炭酸ガス以外にも、メタン、亜酸化チッソ、フルオロカーボン等の温室効果を起こすガスが大気中に蓄積して、同様の現象を起こしています。このような温暖化は、50年間に、地球の平均温度を1.5~4.5%上昇させるものと一般には考えられています。

このような温暖化から生じる気候の変化は、農業に重大な影響を与え、一方、海水位的大幅な上昇が、惑星の氷山の溶解を別にしても、海洋の温度上昇により引き起こされるものと思われま

す。問題は、正に地球的規模のものですが、以下の側面での不確実性の故に、解決防止策の研究は立ち遅れています。その側面とは、地球温暖化の程度、予想される気候変化の地域的・季節的特徴、温室効果ガスの発生割合、シンクあるいは資源としての海洋・生物圏の役割、生物気候帯の移動の可能範囲、森林破壊の割合、そして最終的には、エネルギーと工業生産に関する政策決定の効果といった側面です。

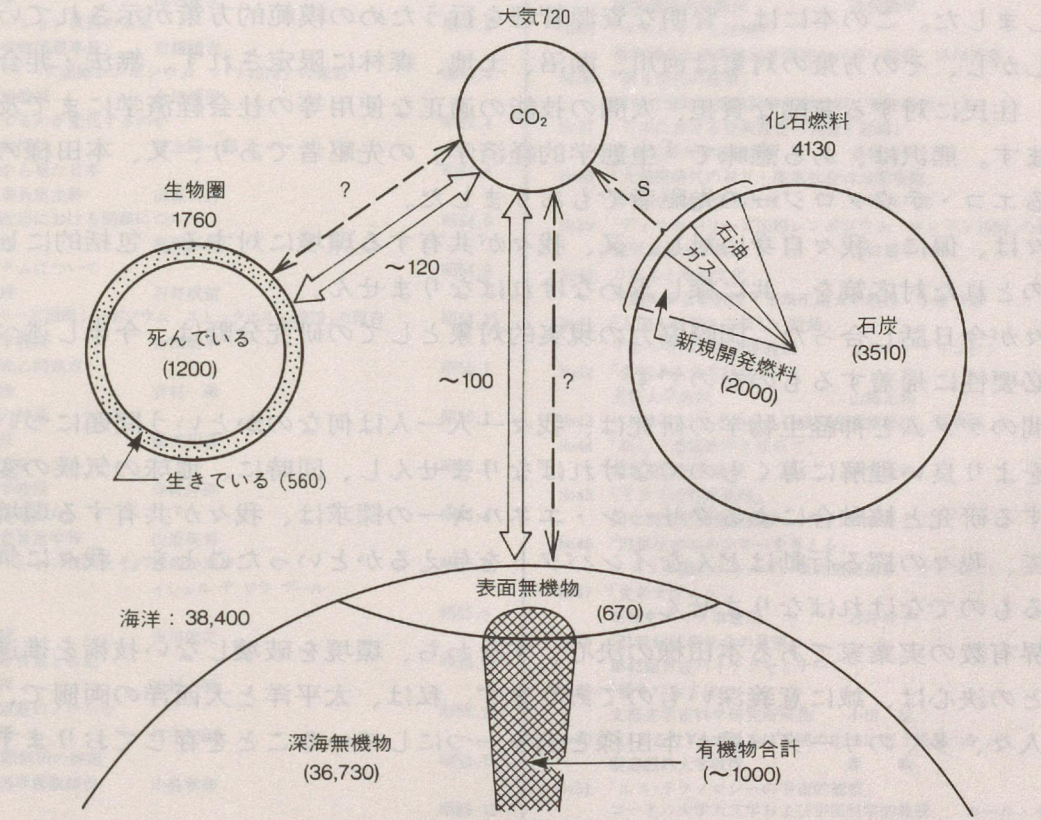
この問題は、他の工業廃棄物、例えば、森林やオゾン・サイクル—このオゾン(ガス)が成層圏内にあって地球を覆っているため、地球は紫外線の照射から守られている—に影響を与えている酸性雨と恐らく関係があると思われる廃棄物のために、もっと複雑になっています。

その主要研究条件が、主に科学連合国際会議の国際地球・生物圏プログラムにより策定されましたが、このプログラムからは、1988年9月、ストックホルムの会合で総括的文書が発行されています。

最終的には、何千人もの研究者、広範な技術・財政策を動員しなければなりませんし、作業を、能率的で時宜に適うよう、よく調整しなければなりません。この仕事を遂行することは、関係者全員、すなわち科学者、実業家、公共機関等にとって、一つの挑戦でありましょう。環境保護の分野で適正な決定を下すためには、このような地球研究の結果が大変重要です。正しい科学知識がないと、政治は誤った方向に導かれ、

図5 炭素プール/フラックス

図1 全炭素プールおよび年間フラックス。プール(円形)のサイズと年間フラックス(矢印)は、炭素(ギガトン)で表示。点線は、人間の活動による付加的フラックスを示す。プールのサイズは、実際の相対比率で表示しており、これにより、活性ある炭素サイクルにおける海洋、石炭、「死んでいる」生物圏(土壌、腐食土)の相対的優占度を明らかにしている。



活動	炭素(ギガトン/年)	プール	量
第三世界における森林開拓	+3.6	大気	720
樹木の工業利用	+0.3	海洋	38,400
薪	+0.3	無機合計	37,400
土壌の有機物の分解	+0.6	表層	670
森林再生	-0.3	深層	36,730
熱帯地方における再生	-1.0	無機合計	1,000
熱帯地域における再生	-0.5	地上生物	1,760
COによる成長刺激	-0.3	生きている	560
NOxによる成長刺激	-0.2	死んでいる	1,200
合計	+2.5	化石燃料	4,130
		石炭	3,510
		石油	230
		ガス	140
		その他の燃料	250
		年間あたりの総フラックス	
		大気—海洋	100
		大気—大陸	120
		化石燃料	
		有機体酸化	5

1ギガトン炭素 (GT C) = 10<sup>15</sup> グラム  
 プールの推算値は10ギガトン以下は切上げ。

(ウィリアムC クラーク 及びCEC)

不要な重荷を負うことになり、その一方で基本的活動はおろそかになるのです。

先進国首脳会議での生命倫理会議の最近の会合で、私は、現在の「宇宙船地球号」と江戸時代の日本の状況とに類似性があることに気づきました。江戸時代、日本は鎖国をし、3,000万人の住民は、自国の資源と環境の節約・耕作に努めなければなりません。その当時、農学者の熊沢蕃山(1659~1691)は、「土地と水に関する理倫」を著しました。この本には、賢明な資源管理を行うための模範的方策が示されています。しかし、その方策の対象は河川、湖沼、土地、森林に限定されず、無法・非合法状態、住民に対する苛酷な負担、人間の技能の適正な使用等の社会経済学にまで及んでいます。熊沢は、ある意味で「生態学的経済学」の先駆者であり、又、本田様の推進するエコ・テクノロジーの先駆者でもありました。

我々は、偏に、我々自身に対し、又、我々が共有する環境に対する、包括的にして調和のとれた対応策を、共に探し求めなければなりません。

我々が今日話し合った、国際協力の現実的対象としての研究分野は、今申し述べたこの必要性に帰着するものなのです。

人間のゲノムと神経生物学の研究は、我々一人一人は何なのかという問題について、我々をより良い理解に導くものでなければなりませんし、同時に、地球の気候の変化に関する研究と核融合によるクリーン・エネルギーの探求は、我々が共有する環境に対して、我々の探る行動はどんなインパクトを与えるかといったことを、我々に気づかせるものでなければなりません。

世界有数の実業家である本田様の決心、すなわち、環境を破壊しない技術を推進しようとの決心は、誠に意義深いものであります。私は、太平洋と大西洋の両側で、多くの人々、多くのリーダー達が本田様と志を一つにしていることを存じております。

本田財団レポート

No.1 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.31 「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10
No.2 異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.32 「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12
No.3 生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.33 「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No.4 語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.34 「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No.5 コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.35 「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.6 「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電通通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.36 「第3世代の建築」 懶菊竹清建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.7 科学は進歩するのかわるのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.37 「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 齋藤進六	昭58.8
No.8 ヨーロッパから見た日本 NHK解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.38 「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.9 最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.39 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.10 分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.40 日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.11 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.41 「人間と自然との新しい対話」 ブラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	昭59.2
No.12 公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.42 「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.13 医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.43 ベルギー「フランドル行政産業使節団」講演会 No.44 「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学教授 小菅敏夫	昭59.7 昭59.7
No.14 心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.45 「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉もとこ	昭59.10
No.15 最近の国際情勢から NHK解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.46 「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロombo	昭60.1
No.16 コミュニケーション技術とその技術の進歩 MIT教授 イシエル デ ソラ プール	昭55.5	No.47 「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.17 寿命 東京大学教授 古川俊之	昭55.5	No.48 「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.18 日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.49 「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.19 自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.50 「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶応義塾大学教授 森 敬	昭61.5
No.20 '80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.51 「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学的教授 カール・セーガン	昭62.2
No.21 技術と文化 I V A 事務総長 グナー・ハンベリユース	昭55.12	No.52 「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.22 明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.53 「中国人とどのようにおつきあいすべきか」 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭62.2
No.23 西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.54 「舞台の奥のヨーロッパと日本」 演出家 寺崎裕則	昭62.5
No.24 中国の現状と将来 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.55 「日米関係の現状と展望」 経団連特別顧問 大河原良雄	昭62.5
No.25 アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.56 私の半導体研究 東北大学教授 西澤潤一	昭63.1
No.26 人々のニーズに効果的に応える技術 GE 研究開発センターコンサルタント ハロイド チェスナット	昭57.1	No.57 「生物学者の科学的責任」 コレージュ・ド・フランス名誉教授 ジャン・ドーセ	昭63.4
No.27 ライフサイエンス ㈱三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3	No.58 「最近の宇宙論をめぐって」 上智大学教授 柳瀬陸男	昭63.3
No.28 「錬金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4	No.59 「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」 ローマ大学教授 バオロ・マリア・ファゼラ	平1.7
No.29 「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7		
No.30 「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7		

発 行 者 仲 井 通 裕

発 行 所 財 団 法 人 本 田 財 団

〒104 東京都中央区八重洲2-6-20

TEL. 東京 03 (274) 5125



February 18, 1993

Dr. M.S. Swaminathan  
Chairman,  
Swaminathan Research Foundation,  
14, 2nd Main Road,  
Kottur Gardens, Kotturpuram,  
Madras - 600 085,  
INDIA

fax:001-91-44-410031

Dear Dr. Swaminathan,

We have received your message, your signature and the figure with many thanks. Your prompt answer is highly appreciated.

Your message which will be translated immediately will be scheduled to appear in the newspaper next March. I believe it will draw all the readers attention and will be warmly welcomed by the people.

Thank you again for your kind cooperation and we will be in touch with you again in a short time.

Very Sincerely Yours.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Nakai'.

Michihiro Nakai  
Secretary General

