

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

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

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 パオロ・マリア・ファゼラ
ローマ大学教授

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がつき、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。

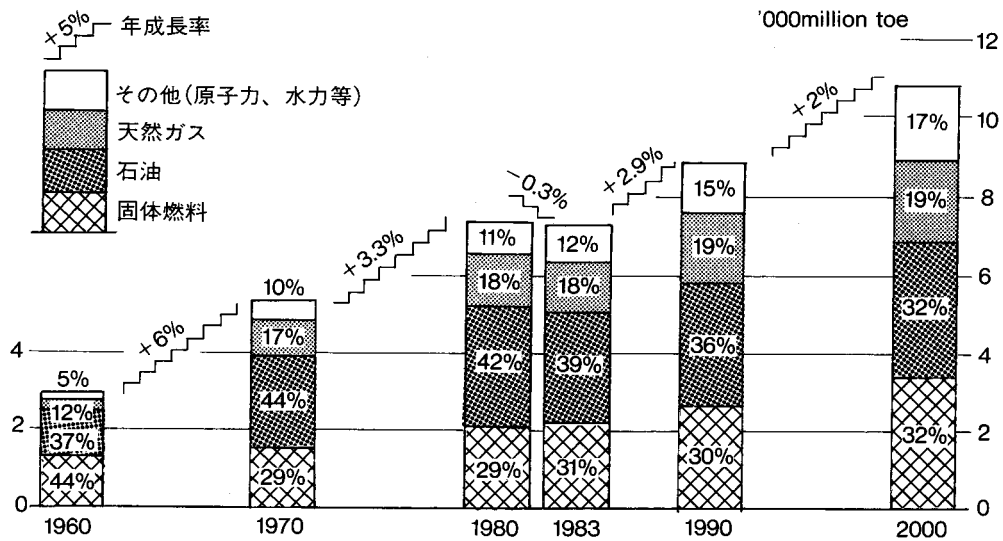
欧州のプロジェクトの成功例としては、分子 Z^0 、 W^+ 、 W^- の存在を最近証明したCERN（セルン：ヨーロッパ原子核共同研究所）や、西ヨーロッパを宇宙に参入せしめたARIANEを挙げるすることができます。

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・コロボ氏と西澤氏は、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)

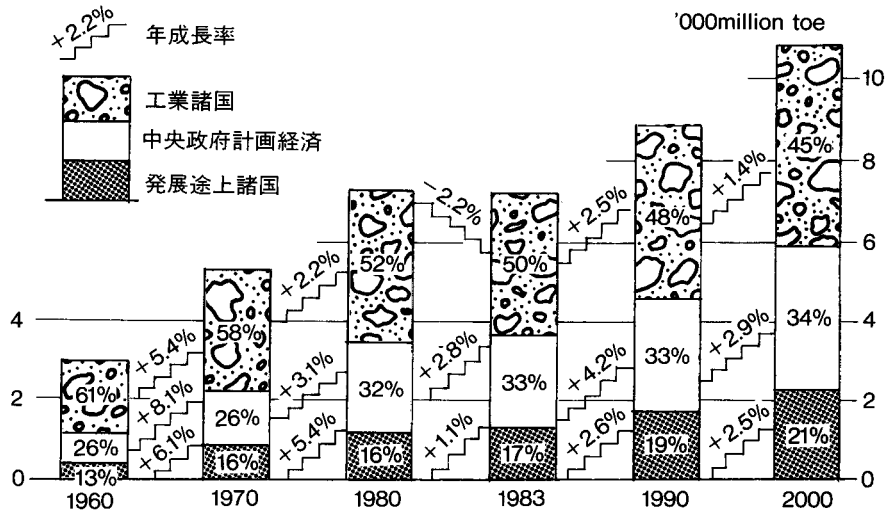
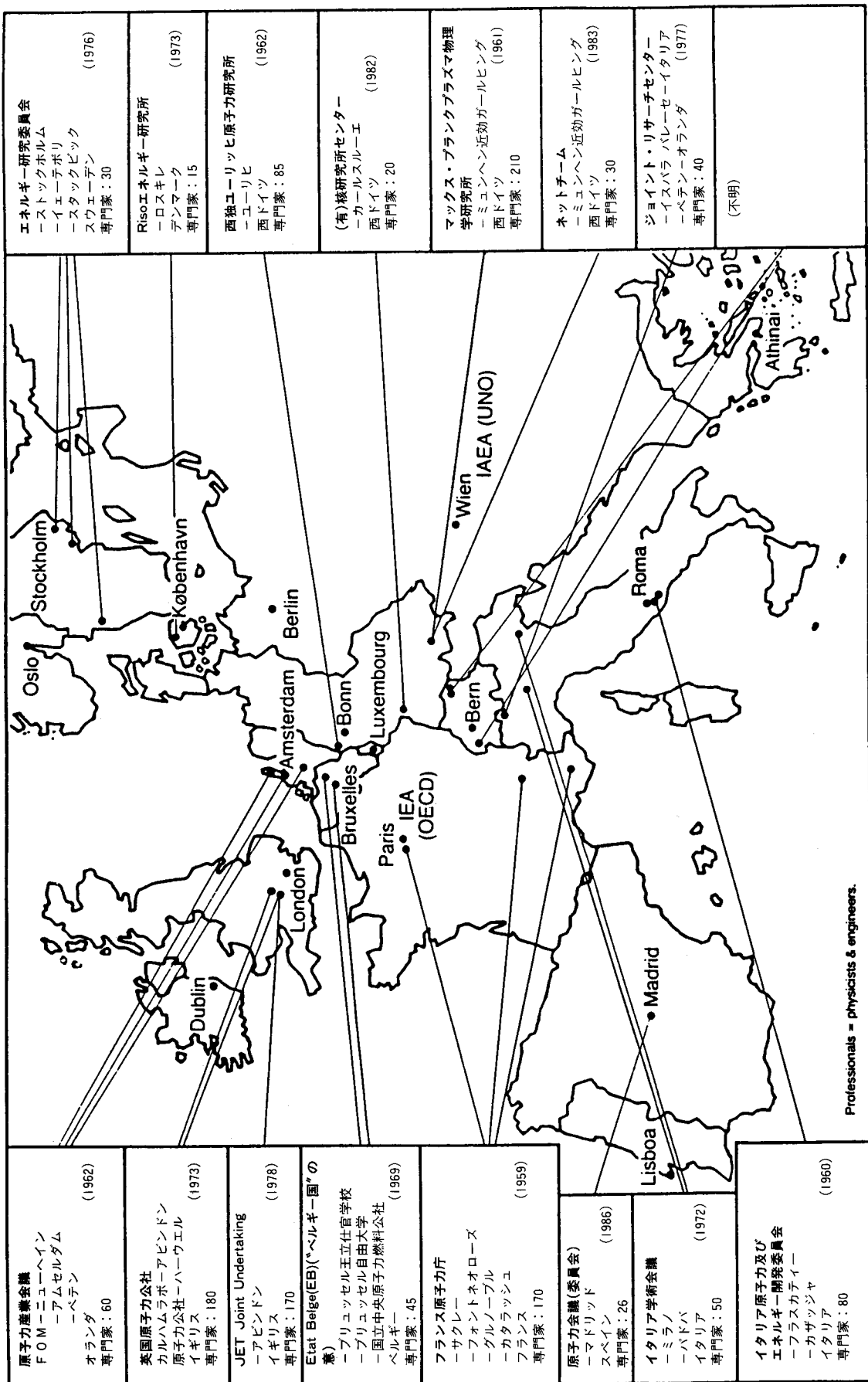


図2 ヨーロッパにおける核融合研究所所在地



原子力産業会議
FOM - ニューヘーヘイン
- アムセルダム
- ベネン
オランダ
専門家：60 (1962)

英国原子力公社
カルハムラボ - アーヴィンドン
原子力公社 - ハーウエル
イギリス
専門家：180 (1973)

JET Joint Undertaking
- アーヴィンドン
イギリス
専門家：170 (1978)

Etat Belge(EB) ("ベルギー国" の
兼)
- フリュエツセル王立立任学校
- プリュエツセル自由大学
- 国立中央原子力燃料公社
ベルギー
専門家：45 (1969)

フランス原子力庁
- サクレ
- フォントネオローズ
- グルノーブル
- カタラッシュ
フランス
専門家：170 (1959)

原子力会議(委員会)
- マドリッド
スペイン
専門家：26 (1986)

イタリア学術会議
- ミラノ
- バドバ
イタリア
専門家：50 (1972)

イタリア原子力及び
エネルギー開発委員会
- フラスカチー
- カザッジャ
イタリア
専門家：80 (1960)

エネルギー研究委員会
- ストックホルム
- イェーテボリ
- スタックビック
スウェーデン
専門家：30 (1976)

Riso エネルギー研究所
- ロスキレ
デンマーク
専門家：15 (1973)

西独ユーリッヒ原子力研究所
- ユーリヒ
西ドイツ
専門家：85 (1962)

(有)核研究所センター
- カールスルーエ
西ドイツ
専門家：20 (1982)

マックス・プランクプラズマ物理
学研究所
- ミュンヘン近郊ガールヒング
西ドイツ
専門家：210 (1961)

ネットチーム
- ミュンヘン近郊ガールヒング
西ドイツ
専門家：30 (1983)

ジョイント・リサーチセンター
- イスバラバレー - セーイタリア
- ベネン - オランダ
専門家：40 (1977)

(不明)

Professionals = physicists & engineers.

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。

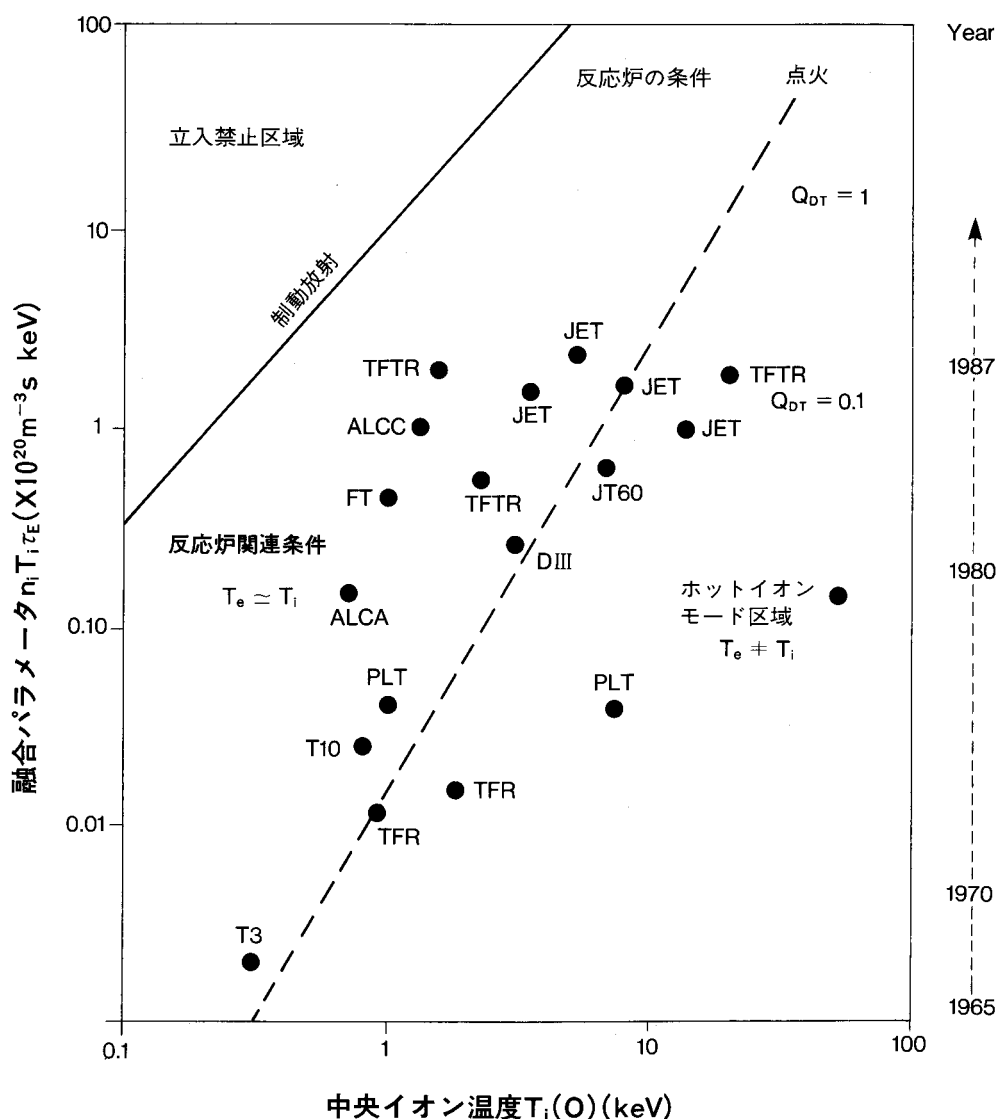
1986年と1987年のレーガン米大統領とゴルバチョフ・ソ連共産党書記長の首脳会談で、核融合抑制は、米ソのみならず日本とECの「共同の努力」をも必要としている研究分野であるとの指摘がなされました。

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 ）
τ _E —エネルギー抑制時間（秒）
* * *
nτ _E T _i > 5 × 10 ²² 反応炉に関して
1970～ 2 × 10 ¹⁸ …25,000倍
1980～ 7 × 10 ¹⁹ …700倍
1983～ 5 × 10 ²⁰ …100倍
1988～ 7 × 10 ²¹ …17倍

図 4



私を知る限り、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。わりあいに少量の「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てるようにするならば、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、誤りでしょう。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、ら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、国際協力を容易にするでしょう。

**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 撮取
 - ・ 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所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 I R 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榮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の関連で、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、この炭酸ガスの量を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、亜酸化チツソ、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の割合、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。

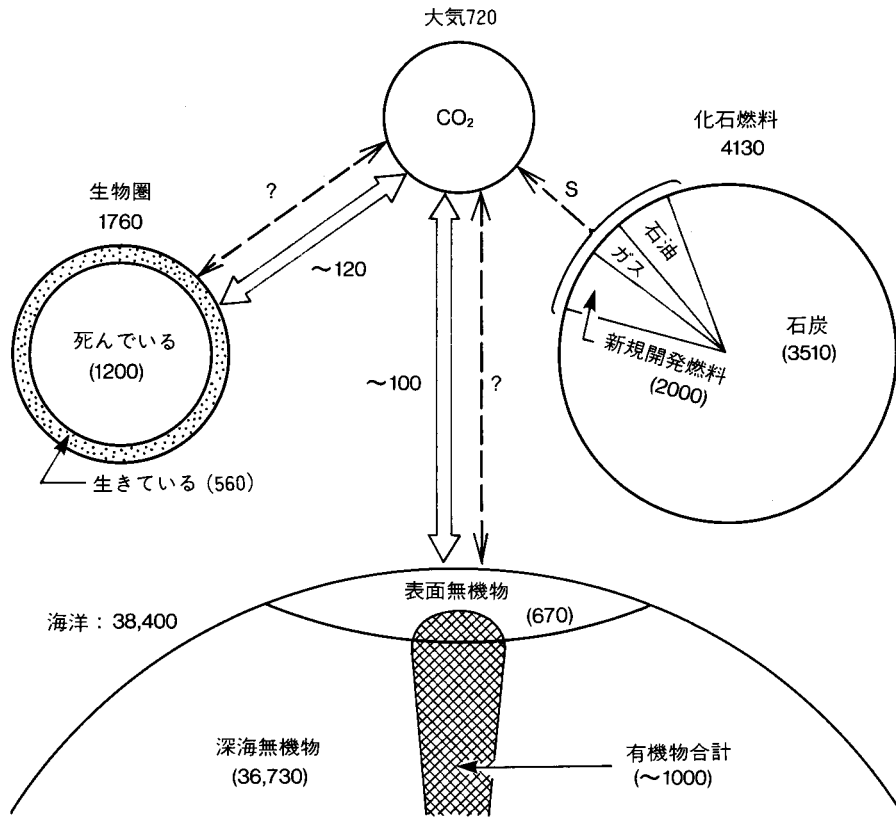
この問題は、他の工業廃棄物、例えば、森林やオゾン・サイクル—このオゾン(ガス)が成層圏内にあって地球を覆っているため、地球は紫外線の照射から守られている—に影響を与えている酸性雨と恐らく関係があると思われる廃棄物のために、もっと複雑になっています。

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 ₂ による成長刺激	-0.3	生きている	560
NO _x 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) = 10¹⁵ 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	昭53.5	No.31 「日本の研究開発」	昭57.10
電気通信大学教授 合田周平		総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	
No.2 異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって	昭53.6	No.32 「自由経済下での技術者の役割」	昭57.12
東京大学教授 公文俊平		ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	
No.3 生産の時代から交流の時代へ	昭53.8	No.33 「日本人と西洋人」	昭58.1
東京大学教授 木村尚三郎		東京大学文学部教授 高階秀爾	
No.4 語り言葉としての日本語	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	昭58.2
劇団四季主宰 浅利慶太		電気通信大学教授 合田周平	
No.5 コミュニケーション技術の未来	昭54.3	No.35 「エネルギーと環境」	昭58.4
電気通信科学財団理事長 白根禮吉		横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	
No.6 「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告	昭54.4	No.36 「第3世代の建築」	昭58.7
電島通信大学教授 合田周平		㈱菊竹清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	
No.7 科学は進歩するのか変化するのか	昭54.4	No.37 「日本における技術教育の実態と計画」	昭58.8
東京大学助教授 村上陽一郎		東京工業大学名誉教授 齋藤進六	
No.8 ヨーロッパから見た日本	昭54.5	No.38 「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」	昭58.8
NHK解説委員室主幹 山室英男		専修大学経済学部教授 中村秀一郎	
No.9 最近の国際政治における問題について	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	昭58.9
京都大学教授 高坂正堯		電気通信大学教授 合田周平	
No.10 分散型システムについて	昭54.9	No.40 日本人と木の文化	昭58.10
東京大学教授 石井威望		千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	
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	昭54.11	No.41 「日本と自然との新しい対話」	昭59.2
電気通信大学教授 合田周平		ブラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	
No.12 公共政策形成の問題点	昭55.1	No.42 「変化する日本社会」	昭59.3
埼玉大学教授 吉村 融		大阪大学教授 山崎正和	
No.13 医学と工学の対話	昭55.1	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
東京大学教授 渥美和彦		No.44 「新しい情報秩序を求めて」	昭59.7
No.14 心の問題と工学	昭55.2	電気通信大学教授 小菅敏夫	
東京工業大学教授 寺野寿郎		No.45 「アラブの行動原理」	昭59.10
No.15 最近の国際情勢から	昭55.4	国立民族学博物館教授 片倉もとこ	
NHK解説委員室室長 山室英男		No.46 「21世紀のエネルギーを考える」	昭60.1
No.16 コミュニケーション技術とその技術の進歩	昭55.5	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	
MIT教授 イシエル デ ソラ ブール		No.47 「光のデザイン」	昭60.7
No.17 寿命	昭55.5	石井デザイン事務所 石井幹子	
東京大学教授 古川俊之		No.48 「21世紀技術社会の展望」	昭61.1
No.18 日本に対する肯定と否定	昭55.7	第43回日経ハイテクセミナー	
東京大学教授 辻村 明		No.49 「星をつぶす法」	昭61.5
No.19 自動車事故回避のノウハウ	昭55.10	文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	
成蹊大学教授 江守一郎		No.50 「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」	昭61.5
No.20 '80年代—国際経済の課題	昭55.11	慶応義塾大学教授 森 敬	
日本短波放送専務取締役 小島章伸		No.51 「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」	昭62.2
No.21 技術と文化	昭55.12	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	
IVA事務総長 グナー・ハンベリユース		No.52 「人間はどこまで機械か」	昭62.2
No.22 明治におけるエコ・テクノロジー	昭56.5	東京大学教授 古川俊之	
山本書店主 山本七平		No.53 「中国人とどのようにおつきあいすべきか」	昭62.2
No.23 西ドイツから見た日本	昭56.6	東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	
電気通信大学教授 西尾幹二		No.54 「舞台の奥のヨーロッパと日本」	昭62.5
No.24 中国の現状と将来	昭56.9	演出家 寺崎裕則	
東京外国語大学教授 中嶋嶺雄		No.55 「日米関係の現状と展望」	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	昭56.10	経団連特別顧問 大河原良雄	
オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン		No.56 私の半導体研究	昭63.1
No.26 人々のニーズに効果的に応える技術	昭57.1	東北大学教授 西澤潤一	
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		No.57 「生物学者の科学的責任」	昭63.4
No.27 ライフサイエンス	昭57.3	コレージュ・ド・フランス名誉教授 ジャン・ドーセ	
㈱三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子		No.58 「最近の宇宙論をめぐって」	昭63.3
No.28 「錬金術 昔と今」	昭57.4	上智大学教授 柳瀬陸男	
理化学研究所地球化学研究室 島 誠		No.59 「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」	平1.7
No.29 「産業用ロボットに対する意見」	昭57.7	ローマ大学教授 パオロ・マリア・ファゼラ	
東京工業大学教授 森 政弘			
No.30 「腕に技能をもった人材育成」	昭57.7		
労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ			