

OUR DREAM

エコテクノロジーの叡智を次世代へ

Ecotechno

Paradigm

Sustainable

Innovation

Life Front

ology n Shift bility n tier

我々は、地球を惑星的な観点から捉えることで、
真の破滅（カタストロフィ）を避けることができる
—— カール・E・セーガン



地球の科学的な観測は永続的に
必要なことであり、完全な義務である
—— ユベール・キュリアン

自然の幾何学にはフラクタルの顔がある
—— ブノワ・B・マンデルブロ

我々は、技術変化を管理する技術を
学ばなくてはならない

—— グナー・ハンベリウス

材料学は、技術の進歩発展を正しく
間違いのない方向に導くことができる

—— ギュンター・E・ベツォー

人間のために役立つ機械を生み出すべきである

—— 森 健一

時間が人間を自然から引き離すようなことは
決して起こらない

—— イリヤ・プリゴジン

大量の物質やエネルギーのインプットから
コミュニケーション、創造性、複雑性に依存した社会へ

—— オーケ・E・アンダーソン

世界のエネルギーの将来について
戦略的な考察が必要不可欠である

—— ウンベルト・コロンボ

高度科学技術は、世界人類に益するという観念から、
省資源と省エネルギーに貢献することこそ、その眼目である

—— 西澤 潤一

技術革新は地球環境を救うために

—— 中村 修二

人類の生存環境の浄化にとどまらず、
より健康な地球環境を未来の子孫へ

—— バリー・ジョン・クーバ

化学物質の正しい使い分けが公共の利益を守る

—— ドナルド・マッケイ

私たち人類は、私たちを取り巻く環境の
パラメータの変化に注意を払わなければならない

—— ヘルマン・ハーケン

現実のあいまいな問題を避けず、
立ち向かうことが人間性あふれる技術を生み出す
—— ロトフィ・アスカー・ザデー

進化の速度が違う国の間でも協力し合い、
お互いに発展し、皆が幸福に暮らしていける社会へ
—— リチャード・R・ネルソン

技術は人間のニーズ・変化に適応してゆくべきである
—— ハロルド・チェスナット

先進技術の進歩を、格差を押し広げる方向に使うのか、
貧しい人、病に苦しむ人、無学な人を助ける方向に使うかは
私たち人間次第である
—— ラジ・レディ

飢餓を永遠に追放するためには、
地域に合った技術が必要とする
—— モンコンブ・S・スワミナタン

地球を建造物で固定してしまってはならない
—— フライ・オットー

持続可能な人類の発展とは、
あらゆる人間活動における質を通じての進歩である
—— アレクサンドラ・コルンハウザー

生命科学は人類の存在本質について、
より良い理解に導くものでなければならない
—— パオロ・マリア・ファゼラ

何千人もの安全や、時には何百万もの人々の幸福が
技術者の手中にあることを忘れてはならない
—— ジョン・F・コールズ

健康な食べ物は健康な環境からしか産まれない
—— ウォルター・C・ウィレット

人間の身体は一種のエコシステムであり、
医師はそれを極力侵害しないよう、
肉体的損傷を最小限にすべきである
—— フィリップ・ムレ

ガンの発生率を減少させることは可能である
—— ブルース・N・エイムス

未知の生命をどのようにして死滅から守り、
保存して次の世代に伝えていくかが
我々に課せられた使命である
—— 掘越 弘毅



人間は一人ひとりが
唯一無二の存在である
—— ジャン・ドーセ

エコテクノロジーの叡智を次世代へ

OUR DREAM

10 刊行にあたって

12 エコテクノロジーの提唱

14 第1章 Paradigm Shift

16 科学技術時代の到来

20 社会的責任という概念

24 21世紀のパラダイム・シフト

32 叡智を人類の幸福に

40 第2章 Sustainability

42 地球環境問題という新しい視座

46 持続可能な発展を目指して

54 Think globally, Act locally

58 地球を共有する同志として

64 第3章 Innovation

66 人類と機械の共生

70 新素材が支える技術革新

75 情報化技術の特異性

81 人間尊重を源泉に

90 第4章 Life Frontier

92 生命科学と倫理問題

98 生命のグローバリズム

102 生命を守る科学技術の可能性

110 科学技術とパーソナリティ

本田賞受賞者
Ecotechnology—28人の体現者

本田賞は、エコテクノロジーの観点から、次世代のけん引役を果たしうる新たな知見をもたらした個人またはグループの努力を評価し、その業績を讃える国際褒賞です。いわゆる新発見や新発明といった狭義の意味での科学的、技術的成果にとどまらず、エコテクノロジーに関わる新たな可能性を見出し、応用し、共用していくまでの全過程を視野に、毎年1件贈呈するものです。

19 グナー・ハンベリュース

23 ハロルド・チェスナット

26 イリヤ・プリゴジン

28 ヘルマン・ハーケン

31 ブノワ・B・マンデルブロ

35 ジョン・F・コールズ

36 オーケ・E・アンダーソン

45 バリー・ジョン・クーパー

47 アレクサンドラ・コルンハウザー

50 ユベール・キュリアン

52 ドナルド・マッケイ

56 ウンベルト・コロンボ

59 フライ・オットー

61 カール・E・セーガン

69 森 健一

73 ギュンター・E・ベツォー

74 中村 修二

78 西澤 潤一

80 ロトフィ・アスカー・ザデー

84 ラジ・レディ

86 リチャード・R・ネルソン

94 ジャン・ドーセ

97 パオロ・マリア・ファゼラ

101 ブルース・N・エイムス

103 ウォルター・C・ウィレット

106 モンコンブ・S・スワミナタン

108 堀越 弘毅

111 フィリップ・ムレ

刊行にあたって

本田財団が設立されたのは、1977年12月のことです。その前年から、「DISCOVERIES国際シンポジウム」という形で、東京、ローマ、パリで国際会議が開かれ、本田イズムを国際的に広める役割を果たしてきました。それらを助走期間として、1978年から財団としての本格的な活動が始まりました。

1978年という年に何があったか。ホンダ関係では、本田宗一郎さんは72歳、すでに社長は退いておられましたが、本田技研工業創立30周年であり、2年前には、現在でも主要車種であるアコードの発売が始まっていました。日本全体では、象徴的な出来事が二つあります。激しい反対運動のなか、成田国際空港がようやく開港されたこと、そしてトヨタが自動車を発売以来42年かかって、年累計生産台数が1000万台を超えたことです。現在日本全体での年間自動車生産台数がほぼ1000万台です。

この30年間で、世界の流れのなかで最も大きな変化の一つは、環境問題でしょう。1978年には「公害」問題は深刻でしたが、いわゆる「環境問題」はまだ課題として認識されてはいませんでした。「持続可能な発展」という合言葉が登場したのは、それから約10年経った1987年のことです。今日では、政府の政策としても、あるいは企業の社会的責任（CSR）という点から見ても、あるいは個人の生活レベルにおいてさえ、「環境問題」に配慮することは必須の要件となっています。

本田宗一郎さんの強烈な個性と、そこに生まれる理念とは、会社だけ

ではなく、財団にも反映されていました。CSRなどという概念が影も形もない時代に、氏の企業経営の中心理念が、社会に奉仕する事であったのと軌^くを一つにして、財団の中心理念が「エコテクノロジー」の考え方の普及であったことは、「環境問題」を見事に先取りしていた、と申しても、牽強付会とはなりますまい。オートバイ中心の時代のホンダが、「暴走族」の温床として非難に晒されたときに、バイクに乗ることのなかに、若い世代の社会教育の機会があることを訴え、単に訴えるだけでなく、それを実現するための実際的な手立てを実行した本田さんです。企業活動が、環境（自然環境と人間環境の双方）にとって常にプラスをもたらすものでなければならない、という哲学を、世界に広めることこそが、本田さんが財団を創設され、エコテクノロジーをその中心概念に据えられた真意であったと思います。

これは、いわゆる本田神話ではありません。文字通り、本田さんの先見の明を示すことであったと信じます。本冊子は、この30年間——その間に本田さんご自身が亡くなられるということにもなりますが——の財団の姿を、改めて振り返ると同時に、そのことを通じて、本田イズムを継承しつつ、次の時代の財団の歴史を創造するための試金石として編まれました。この冊子が、これからの世紀を担う科学者・技術者の指針となり、エコテクノロジーへの理解が深まることを希望いたします。

2008年3月

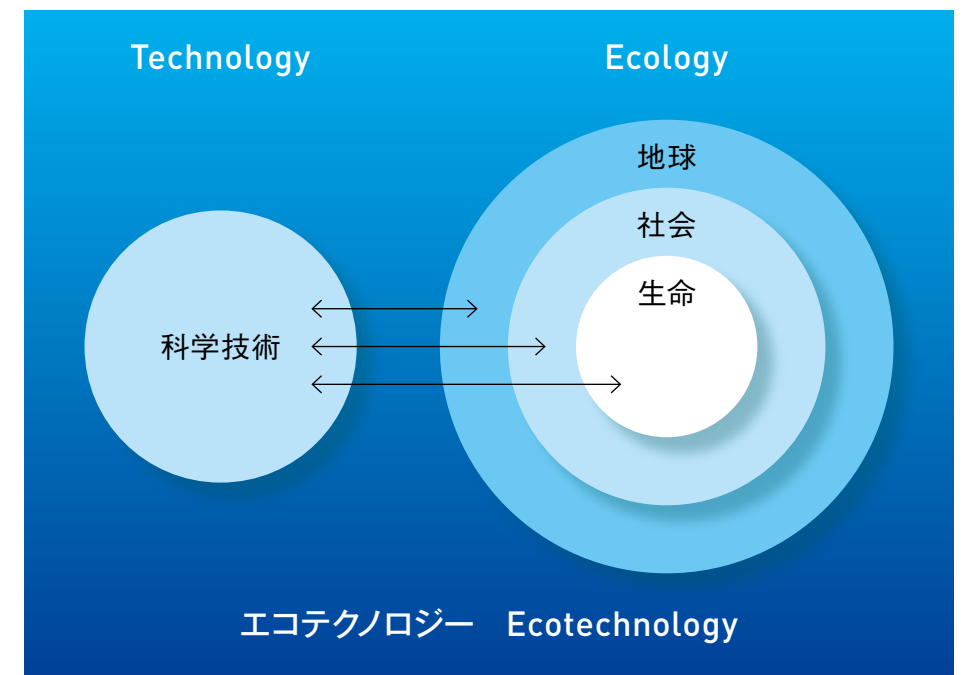
監修者として 村上 陽一郎

エコテクノロジーの提唱

「エコテクノロジー (ecotechnology)」は、1980年に開催された DISCOVERIES 国際シンポジウムのなかで初めて世界に紹介されました。エコテクノロジーは、ecology と technology を組み合わせた造語ですが、現在の「エコロジー」から想起される「地球に優しい」という限定された意味合いを超えて、時代の要請に応えるために構築された技術哲学であり、社会生活に反映されるべき新しい“ものの見方” “もののつくり方” “ものの扱い方” を提示する概念です。

これまで、欧米や日本の経済活動を支えてきた産業の発展とともに生じた多くの環境問題は、すでに私たち人類の存在を脅かしかねない状況にあり、人間活動と地球上のあらゆる「自然環境 (Natural Environment)」との調和を図る必要があることは、今さら言うまでもありません。この視点に加えて、さらに重視するのが、科学技術は「人間環境 (Human Environment)」との調和もまた考慮しなければならないという考え方です。従来、ともすると排除されてきた国や地域の多様性、あるいは人間的な要素をも科学技術のパラダイムの中心に置くこと。すなわち、常に“人間”を大切にする科学技術こそ、私たちの目指す姿です。

「自然環境」と「人間環境」の両方と調和できる科学技術——。21世紀に求められるのは、まさにこうした科学技術であり、私たち本田財団はこれを「エコテクノロジー」と総称し、人類が明るい未来を切り拓くために科学と技術が果たすべき役割とは何か、その全ての可能性の追求をミッションとしています。



DISCOVERIES
国際シンポジウム1980東京会議
「エコテクノロジーの提唱 ～技術と文化の対話～」

エコロジーは「生態学」を意味する言葉として、第二次世界大戦前から使われてきました。語源をひもとくと、ギリシア語の「オイコス(エコ)＝家」と「ロギス(ロジー)＝学問」からなり、直訳すれば「家の学問」となります。この「家」という概念こそ、エコテクノロジーが対象としている“もの”なのです。すべての生物にとっての「家」は「地球」と考えられます。人間が市町村や国家単位で築き上げた「家」は「社会」と呼ばれます。私たちが宿る「家」は「生命(体)」と言えます。そして、地球、社会、生命という相互に影響し合うこれらの「家」は、現代の科学技術から多大な影響を受けるようになり、恩恵を受ける一方で、壊されたり、歪められたりしています。私たちは、大きなリスクと直面する「家」をどう捉え、どうつくり、どう扱うべきなのか。その答えを導き出すための指標となるのがエコテクノロジーなのです。

科学技術時代の到来

社会的責任という概念

21世紀のパラダイム・シフト

叡智を人類の幸福に

Paradigm Shift

20世紀半ば以降、「科学」と「技術」は密接な関係性を持ち、科学技術の進化は急激に加速。有史以来、全く経験したことのない大規模なパラダイム・シフトが進みつつある現在、子孫たちに明るい未来を手渡すため、我々にできることは何か。そして、個人の生命や日常生活、社会全体のシステムのあり方、果ては地球全体の運命にまで多大な影響力を持つようになった“科学技術”に携わる若き研究者たちに寄せられる期待と課せられた責任とは……

21世紀の新たなパラダイムを生きる科学技術者に求められる資質と倫理に迫る。

科学技術時代の到来

今日では分けて考えることが難しい「科学」と「技術」は、20世紀初めまで、全く別の道筋を歩んでいました。

それまでの「科学」は、研究者が自らの知的好奇心を満たすために研究され、その成果は、同じ好奇心を共有するわずかな同僚が集う狭いサークル、主に大学の機関などで評価されてきました。科学は、いわば閉鎖的な共同体の中だけの知的活動でした。一方、「技術」は元々、職人の世界に定着し社会との関係は常にありましたが、ヨーロッパの産業革命を契機に、次第に技術教育が社会に開かれたものへと変遷しました。さらには、トーマス・エジソンに代表される多くの起業家（アントレプレヌール）、発明家たちの登場によって、技術は大きく革新します。

この「技術」の発展は産業や経済に大きな効果をもたらしていましたが、知的活動の枠を出ない「科学」は「技術」にほとんど影響を与えていません。あくまで科学は、科学者集団内部だけで自己完結する営みだと主張され、実践されてきたのです。

しかし、20世紀における2つの大戦を契機として、「科学のあり方」は大きく変質します。

第一次世界大戦時、飛行機のための物理学や流体力学、毒ガスのための化学など、一部

の科学と近代産業の成果が強く結びつき、新たな技術革新を生みました。このとき、「科学の世界で築かれた知識が、技術発展の基礎となりうる」という認識が育ちます。

そして、第二次世界大戦時、米国のフランクリン・ルーズベルト大統領（当時）が、1930年代にMIT工学部長を務めたバーネバー・ブッシュを抜擢し、「科学や技術の世界に存在している有益なもの、有効なものを戦争の遂行と勝利の目的のために総動員する」というシステムをつくらせることで、状況は一変しました。特に代表的プロジェクトだった「マンハッタン計画」は、科学者集団の中にある「知識」を、専門サークル外の政治や軍事が利用した最たる例となりました。その結果、原子物理学という純粋科学理論を技術によって現実化することで、核兵器が生み出されたのです。

ブッシュは、終戦も間近に迫った1945年5月、『科学—この終わりのなきフロンティア』という最終報告書をまとめます。それは、科学や技術を戦争に利用してきた研究、開発のシステムを、平和が訪れた後も疾病との闘い、国民の生活向上、雇用拡大の方向に生かし、国家に有益なことに使おうというものでした。

この報告書を受け、米国では、世界で初めて国家の財政を科学技術の研究に投下し、科学



「発明王」の異名を持つトーマス・エジソンは、電話機や蓄音機の発明から2年後の1879年、フィラメントに竹を利用することで、白熱電球の寿命を飛躍的に伸ばした。この「エジソン電球」により電灯事業が産業化された結果、それまで闇に閉ざされていた世界の夜は一変した。19世紀後半、職人たちの間で綿々と受け継がれてきた「技術」は、エジソンに代表される発明家兼起業家たちの登場によって、新たな産業構造すら生み出す“ビジネスのタネ”となり、技術の進歩は、俄然、加速し始めた。第二次世界大戦以降、原子力開発や遺伝子組み換え技術など、次々と起こる技術革新が社会にもたらすインパクトは計り知れないものとなり、同時に、そこから生まれるリスクや環境破壊なども、地球レベルの規模に拡大していくこととなった。



photo: Afro

1946年7月1日、ビキニでの原爆実験。原爆の威力を示すため実験は公開され、周辺の生物は放射能の被害を受けた。ウラン1kgが分裂すると、およそ1gから100ワット電球×2万8000年分のエネルギーを放出するとも言われる。エジソン電球の発明から70年弱、人類は自らを破滅に導きかねない圧倒的なエネルギーを手に入れた。

者の好奇心を満たすだけに使うのではなく、国家の利益に反映させるという政策が発案されたのです。

ここに、新しい技術の大半が科学的な研究・開発によって生み出される「科学技術の時代」が始まりました。以後、科学と社会生活に密接に関係する技術とが結びつくことで生まれた「科学技術」は、社会に大きな影響をもたらすだけでなく、産官学のすべての組織を巻き込んで、社会の構造を根底から革新する可能性を持ちました。

21世紀の今、「科学技術」はさらなる大きな転換期を迎えています。現代の先進国も途上国も、科学技術の振興を国家政策とし、その対象は産業や軍事だけでなく、教育、外交、医療、福祉など、すべての世界に存在し、それらの進歩・成長の原動力となっています。有史以来、科学と技術が社会に対してこれほどまでに影響力を持ったことはなく、それゆえに、そのあり方が強く問われる時代となっているのです。

Paradigm Shift 科学技術時代の到来

我々は、技術変化を管理する技術を学ばなくてはならない

1980年本田賞受賞

グナー・ハンベリュース
Dr. Gunnar Hambræus



1919年スウェーデン、オルサ生まれ。1944年ウプサラ大学理学士。1945年ストックホルム王立工科大学電気工学修士。スウェーデンの技術雑誌「Teknisk Tidskrift」の編集長兼発行人、国際原子力エネルギー機関顧問などを歴任し、1971年からスウェーデン王立理工学アカデミーの事務総長を務める。1975年ゴセンパーク大学名誉工学博士。北極星勲章、レジオン・ドヌール勲章など多数受章。

1970年代、公害や自然破壊の深刻化、核兵器の脅威など、「人類の未来を脅かす問題」をもたらした元凶として科学技術に対する批判が強まりました。そんな時代背景を考えると、1980年に第1回の本田賞を受賞したグナー・ハンベリュースは、当時最も必要と思われる活動を続けてきた人物の一人と言えました。

ハンベリュースは、1950年から翌年までニューヨークの駐米スウェーデン大使館の技術顧問を務めた後、1953年から15年間、スウェーデンの技術雑誌「Teknisk Tidskrift」の編集長兼発行人を務めるなど、技術者に対する啓蒙的活動に手腕を発揮しました。1971年からは世界で最も古い技術アカデミーの1つ「スウェーデン王立理工学アカデミー」の事務総長を務め、永年にわたり同国の官界、学界、産業界の橋渡し役を果たしました。1983年からは同アカデミーの会長に就任。各国のエンジニアの認定及び国立工学アカデミーの設立の推進においても世界的指導者として活躍。世界レベルで科学技術振興に多大な貢献を残しました。

このような経歴を持つ彼が、記念講演で強調したテーマとは「新しい時代に合った“技術と文化の調和”を築くうえで、行政の果たす役割の大きさ」でした。そして、行政を執り行う政府や国家の諸機関へのアドバイザーとして、彼は「アカデミー」の新たな在り方について、3つの目標を提言しました。

第1に、アカデミーの会員が、科学技術の限界を見極めること。第2に、アカデミーが広範囲の人々と密接につながりながら、学際的な統合を実現してゆくこと。第3に、科学技術とその潜在的な可能性、限界、影響を意思決定者はもとより、一般民衆にもよりよく理解させること。

この3つは、ハンベリュース自身が尽力し、多大な功績を残してきたテーマでした。同時に、この3つの目標は、四半世紀以上経った今もなお、行政が取り組むべき重要なテーマと言えるのです。

社会的責任という概念

マンハッタン計画は、科学技術の社会への影響を強めただけでなく、研究者内部にも大きな意識変化をもたらす転換点ともなりました。原子物理学の知識を総動員した結果、核兵器が世に送り出されました。それによりもたらされた惨状を踏まえて、一般社会からだけではなく、科学研究に従事する人々の間にも、社会的影響に対する責任が大きな動揺とともに自覚され始めます。

さらに、戦後、科学技術による成果が普及するほど、その反動として、近代文明に対する不信感を増大させる多くの事象を出現させることになりました。

1960年代には、先進国の一部で環境破壊や汚染問題（いわゆる公害問題）が、70年代に入り、環境問題が地球規模で台頭します。80年代は、南極で巨大なオゾンホールを観測（82年）、世界最悪の惨事と称されるチェルノブイリ原発事故（86年）など、科学技術の所産である負の側面が社会に大きなインパクトを持って顕在化しました。また、20世紀の終わり頃から、生命科学の飛躍的な進展により、脳死や遺伝子組み換え問題、さらにクローン羊ドリーに代表される生命倫理問題が新たに浮上しました。

もちろん、ここで挙げた事件・事象の原因がすべて科学技術にあるわけではありません。



「科学と世界の諸問題に関するバグウォッシュ会議」第1回会議（カナダ、バグウォッシュ村、1957年7月）

この会議は、バートランド・ラッセル卿とアルベルト・アインシュタインの呼びかけ（ラッセル＝アインシュタイン宣言）で、11人の著名な科学者によって創設。すべての核兵器および戦争の廃絶を訴える活動が続いている。第1回会議には、湯川秀樹、朝永振一郎、小川岩雄、マックス・ボルン、フレデリック・ジョリオ＝キュリーら10カ国22人の科学者たちが集まった。（提供：バグウォッシュ会議）

しかし、現代社会において、研究者がしていることとその結果は、望むと望まざるとにかかわらず、国家や地方行政や企業などのチャネルを通じて、その社会に生きる一人ひとりの構成員の生活のあらゆる場面に介入し、未来の人類に対しても強くその影響を与え得るほど大きな力を持っています。

そうした社会に生きる研究者には、自分の行なっている研究活動が社会のどのような機構

のなかで利用され、どのような社会的な結果を生み出し、それがどのような形で人々の生に関わってくるのかという「社会的責任」が要求される存在として、あらためて認識されるに至っています。

専門家として、自らの研究成果の社会に対する負の効果に対して常に敏感であり、その負の影響を避けるために研究の方向を制御することも、ときには自ら決断しなければならない。

少なくとも、それを制御する方法の案出にも責任と義務を感じ、実践できるような、そういう研究者の倫理が求められているのです。また、専門家としての経験と知識が、常にそうした義務や責任の遂行に最適・最善とは言えない、という事情を鑑みれば、研究の世界で起こっていることを、常に一般の社会に対して開示・説明する義務もまた、そこに生まれます。

しかし、私たちは同時に、自分たちの社会

世界科学会議（ハンガリー、ブダペスト、1999年6月）

世界各国の約2000人もの科学者や政府関係者等が参加したこの会議（UNESCO/ICSU共催）では、21世紀における科学と社会の在り方について討議がなされ、「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」を採択。なかでも、「社会の中の社会のための科学」が謳われ、科学の最終目標は人類の福祉であり、貧困の撲滅、人間の尊厳と権利の尊重、地球環境の保全、次世代への責任に関与しなければならないと宣言された。



が、どのように科学技術を利用してきたか、あるいはどのような科学技術を推進してきたか、という点を考えなければならないでしょう。効率、便利、快適…… こうした価値を追求し、科学技術を徹底的に利用してきた「近代社会」が、そのままでは立ち行かなくなってきたことは明らかです。しかも、そこには、南と北、東と西という、地球規模での公平・公正の問題が絡んできます。つまり、現代社会においては、一般

の社会もまた、ある種の倫理的綱領のなかで、科学技術を見つめ、協力し、共生していく途を探らなければならないのです。

このように、科学者と技術者は社会に対して、社会は生み出された科学技術の実用化に対して、互いに責任を追う時代となっているのです。

Paradigm Shift 社会的責任という概念

技術は人間のニーズ・変化に適応してゆくべきである

1981年本田賞受賞

ハロルド・チェスナット

Dr. Harold Chestnut



1917年米国、ニューヨーク州生まれ。1940年マサチューセッツ工科大学電気工学の修士を取得し、ゼネラルエレクトリック社に入社。1957～59年までIFAC(国際自動制御連盟)会長、62～64年アメリカ自動制御協会の会長を歴任。また、1973年にはIEEE(電気・電子学会)の会長を務めるなど、世界の産業界に多大な貢献を残した。『システムエンジニアリングメソッド』(1967)年など、著書多数。

1940年から1966年まで「GE(ゼネラルエレクトリック社)」でエンジニアとして研究開発に従事した経験を持つハロルド・チェスナットは、いわゆる“在野の研究者”として「技術者は人々の多様化するニーズに応えるように開発を進めるべきである」という信念を持っていました。その信念のもと、チェスナットは「システムのやり方は、システムを使う人たちの要求を取り入れ、同時にシステムをつくる人の能力、要求も考慮することに努める」というシステム工学の概念を打ち出すとともに、地球環境に負担をかけない開発のあり方についても追求したのです。

1950～60年代の米国では、軍事目的で開発された自動制御と急速に発展したコンピュータが多くの産業で利用され始めていました。チェスナットも電力産業の要求に応える形で研究に携わっていましたが、それと並行して、60年代初頭、環境汚染や資源の枯渇などの環境問題に対しても関心を持ち始めました。

1975年には「人間環境に関する国際会議」をテーマに京都で開催されたHESCに出席。公害問題が深刻化する日本の工業地域を訪問し、大気及び水質汚染に加えて、騒音、化学、電気およびその他の要因による汚染公害が増大していることを知りました。

さらに、欧米で環境問題が高まるにつれ、「テクノロジー自体は人間の意志決定の基本となるべき判断力や基準の選択を行うことができない」と考えたチェスナットは、信頼性や人間社会への影響、社会的考察を含めた体系的なアプローチの必要性を唱え、独自のシステムエンジニアリング論を展開したのです。

本田賞受賞記念講演で、チェスナットは世界の技術者たちにこう語りかけました。

「限られた資源と環境的制約の中で、世界の人口は益々増加し、人々のニーズも拡大していきます。新しいテクノロジーの開発に携わる我々は、自分達こそが、そういったニーズに応えていくという使命の担い手であるという認識を持つべきではないでしょうか」

21世紀のパラダイム・シフト

現代社会が抱える問題は、環境問題を代表に、その原因は多様であり、複雑化しています。例えば、大気圏中の二酸化炭素の激増という現象も、自然現象だけを対象にすればよいのではなく、人間の社会生活や産業、経済、軍事、輸送移動活動などの社会現象を考慮しなければ本質的な問題解決には至りません。そのアプローチを可能にする新しい学問の流れが、20世紀後半から産声を上げました。21世紀に新たなパラダイム・シフトをもたらすと期待される「複雑系」と呼ばれる学問分野です。

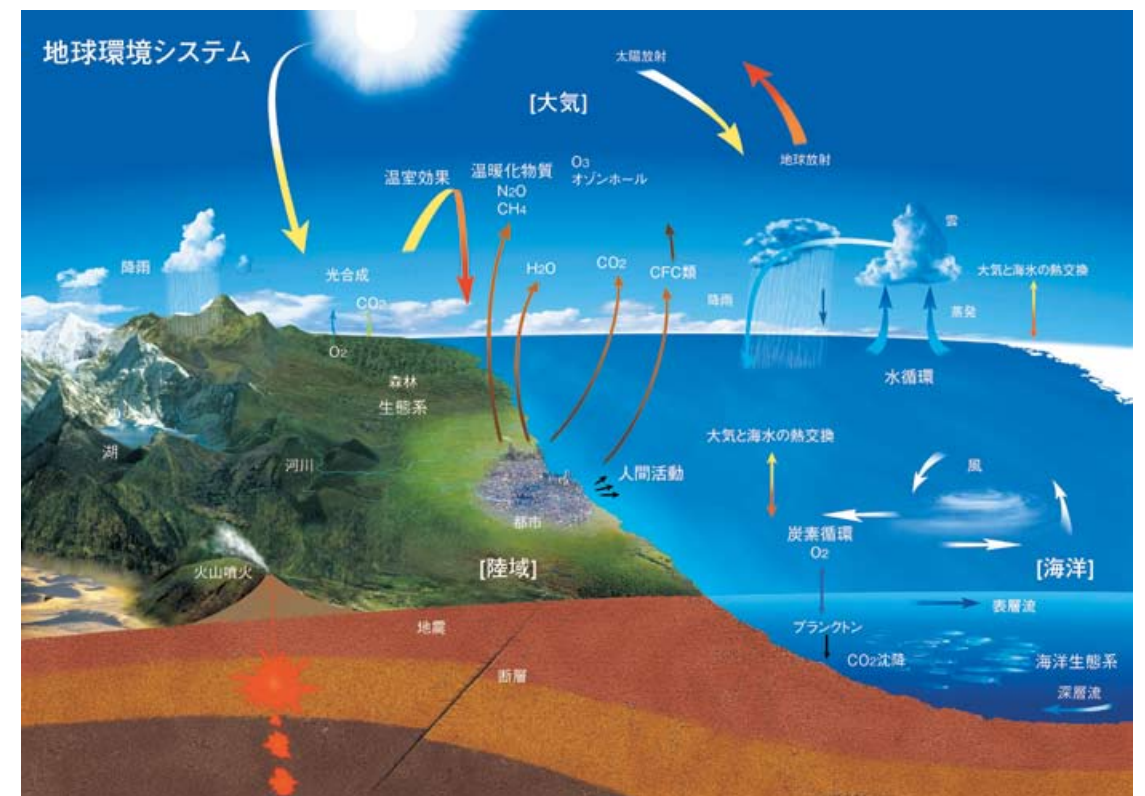
「複雑系（を扱う科学）」で括られる研究分野は多岐にわたり、その実態を的確に表現するのは困難です。あえて共通する特徴を挙げるなら「多数の因子（パラメータ）がお互いに非線形に関係し合っているために、全体的なシステム（系全体）の未来の振る舞いや状態を要素の性質やその働き（関係）からは予測しにくい系」と言えます。

この定義は一見難解に見えますが、「複雑系」で扱われる研究対象と照合すれば理解しやすいかもしれません。その研究対象とは、気象、海洋、生態系、生命現象、人工知能（脳科学）、大規模交通流、政治経済システムなどです。これらは「複雑な現象を単純な法則や原理に落とし込むことで理解する」という以前

の科学的手法では扱えない分野でした。複雑系は、新たに生み出された理論に基づいて「複雑な現象を複雑なまま理解する」という革新的なアプローチを実現したのです。

一方、複雑系が「単純な法則や原理に落としこめないシステム」への科学的アプローチを提唱したのに対して、「もとは単純な法則や原理から始まっても、初期の小さな因子（初期値）のずれが、時間の経過（プロセスの積み重ね）が進むにつれ、その結果に大きな差が生じるシステム」を扱う理論も登場しました。1970年代半ばに登場した「カオス理論」です。この理論により、例えば天候の正確な長期予報や為替の長期的な変動予測などは、現実的に不可能であることが示されました。

複雑系を代表とする「複雑なもの」に対する科学的アプローチは、20世紀後半の特徴であり、21世紀の展望を開くものです。現在、これらの科学理論の進展は、コンピュータやインターネットに代表される情報科学やナノテクノロジーなどと結びつくことで、天候予測や地球環境シミュレータ、交通渋滞予測などの精度を飛躍的に向上させ、生命の神秘の解明、果ては政治経済といった社会システム研究などにも進展をもたらすなど、さまざまな分野において、実用性の高い革新的な科学技術の研究と



大気と海水、大気と陸地の間には熱と水の交換をはじめ様々な相互作用が存在する。気候の変化は自然作用だけでなく、人間も含めた地球全体の活動が複雑に関わり合った結果として、私たちの目の前に現れる。地球温暖化は、人間活動により大気中に放出されたフロンなどがオゾン層を破壊したり、二酸化炭素・メタンなどの温暖化物質が大きな原因となっている。その解明には、陸上および海洋の生態系も大きく関わっている炭素の循環過程についての詳しい調査も必要であり、多方面から研究が続けられている。（提供：JAMSTEC）

開発に寄与しています。

21世紀のパラダイム・シフトは、これまでと全く違った科学技術によるアプローチを実現すると同時に、これからの社会に必要とされる科学技術を生み出す可能性を秘めているのです。

時間が人間を自然から引き離すようなことは決して起こらない

1983 年本田賞受賞

イリヤ・プリゴジン
Dr. Ilya Prigogine



1917年ロシア、モスクワ生まれ（国籍ベルギー）。1941年ブリュッセル自由大学理学博士、1951年同大学教授。1959年から国際物理・化学研究所所長、テキサス大学物理・化学工学の教授及び理事を歴任。1981年からヨーロッパ共同体委員会の特別顧問。のちにベルギー・ソルベイ物理化学国際研究所、アメリカ・テキサス大学統計力学・熱力学センター代表を兼任。ノーベル化学賞（1977年）をはじめ受賞多数。

1970年代、イリヤ・プリゴジンは「散逸構造論」を発表しました。この中で提唱された「部分が全体に影響し、全体が部分に影響する」という相互作用の理論は、物理化学の世界のみならず、生物学や生命科学の研究分野にも大きなインパクトを与えました。さらに、散逸構造論から導き出された新たな科学的アプローチは、気象学や海洋学、果ては哲学、社会学、経済学など、人文・社会科学の分野にまで影響を与え、ヘルマン・ハーケンの「シナジェティックス（P28参照）」とともに、現在、最も重要な科学理論である「複雑系」と呼ばれる研究分野の発展を促す重要な役割を担うこととなったのです。

散逸構造論誕生のきっかけは、第二次大戦前から熱力学の第二法則の研究中にプリゴジンを悩ませた1つの〈疑問〉でした。

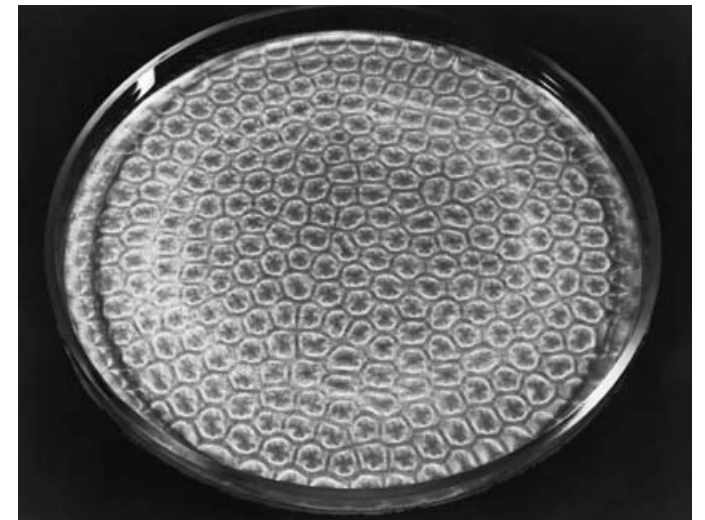
エントロピーの増大則に従えば、世界（宇宙）は時間が経つにつれ無秩序になり、壊れたものは元に戻らず、やがて混沌の中に停止する運命にあります。しかし、生物学的な世界では、生命体が成長することで、より「秩序」を持った組織化が進みます。この「生命体の成長」は無秩序化と逆の現象と考えざるを得ません。

そこで、プリゴジンは熱力学の研究の中で「エントロピー増大の法則と逆の現象もあるのではないか」と考えました。例えば水の中にインクを1滴落とすと、エントロピーの増大則によりインクは拡散します。これは、インクの分子がランダムに動くときエントロピーを増大させる確率が高いので、乱雑さが増してゆくからです。ということは、たとえ確率は低くても、その逆の動きをしている分子の存在の可能性も否定できないはずで

偶発的な「エントロピーに逆行して秩序を形成するシステム」の可能性を「ゆらぎ」といいます。この「ゆらぎ」という小さな秩序、偶然生み出された秩序は、プリゴジン以前の科学ではほとんど無視されてきました。

確かに、外から物質やエネルギーの流入がない「閉じた系」で平衡状態にある場合、全体はエントロピーの増大則に従います。しかし、物質やエネルギーの絶え間ない出入りがある非平衡開放系においては、小さな「ゆらぎ」が周辺（全体）の構造に影響を与え、その周辺（全体）がさらに「ゆらぎ」の小さな秩序を強化させるという相乗効果、いわゆる

散逸構造の最も顕著な一例は、鍋に液体を入れて下から一様に熱した場合に現れる。加熱がおだやかであれば液体は線形非平衡という第二の段階にいて、熱は液体中を伝導によって運ばれる。ところが加熱が激しくなり、温度勾配がある特定の値を超えると対流による細胞が突然自発的に発生する。これは熱揺動のエネルギーが巨視的な運動である対流へと移される際に生じる高度に組織化された分子運動である。新しく現れた分子的秩序は外界とのエネルギーの交換によって安定化された巨大なゆらぎであり、これが散逸構造によってもたらされる秩序である。（提供：三澤信彦〔東京大学海洋研究所〕）



「自己組織化」が起こる場合もあります。この自己組織化が、やがて大きな秩序を生み出す可能性をプリゴジンは発見し、理論化しました。それが「散逸構造論」でした。

その後、プリゴジンは「秩序をもたらすのは平衡ではなく、非平衡である」という考え方にに基づき、熱力学の研究という物理学の範疇を超え、「カオス（混とん）のコントロール法を学ぶことで、新しい社会や科学を構築できるのではないか」という新たな視点の提唱に至り、今なお発展を続ける「複雑系」の科学理論の牽引者として、その名を残すこととなったのです。

プリゴジンの理論の重要性は、登場から約40年経った現在に至り、さらに高まっています。生命は、内部で負のエントロピーを消費し、外部に代謝して秩序を形成しています。このような生命のシステムも「散逸構造」の1つと言えます。生命体のシステムはあまりに複雑で、人間には制御できないと考えられてきました。しかし、ナノテクノロジーの急速な発展により、原子レベルの制御が可能となりつつある現在、生命における「自己組織化」の科学的な解明は、生命の神秘の謎に迫る上で、より有効な手法の1つとして注目されているのです。

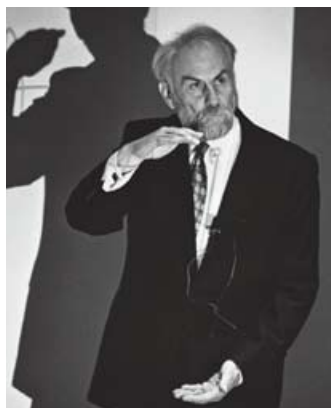
科学技術の発展に伴い人間は自然とどのような対話を交わしているか——そんなプリゴジンの問いかけには、エコテクノロジーと共通する示唆があります。プリゴジンは、彼の最大の研究テーマだった「時間」の概念について著書『現代熱力学』の中で次のように語っています。

「時間、とりわけ時間の方向は、人生の基本的な存在次元である。我々は今や、時間の流れが全宇宙的であることを見出した。時間が人間を自然から引き離すようなことは決して起こらない」

私たち人類は、私たちを取り巻く環境の パラメータの変化に注意を払わなければならない

1992 年本田賞受賞

ヘルマン・ハーケン
Dr. Hermann Haken



1927年ドイツ、ライプチヒ生まれ。1951年エアランゲン大学数学博士。1960年シュツットガルト大学理論物理学教授、61年には日本の湯川記念館で基礎物理学研究所客員教授。ベル電話研究所顧問、パリの遠隔通信研究所 (ITT) 顧問を経て、1970年からはシュツットガルト、マックス・プランク研究所科学委員会のメンバーの傍ら、ドイツ物理学会量子光学部部長、ドイツ科学財団顧問などを歴任。マックス・ボーン賞をはじめ受賞多数。

1990年代に始まった「複雑系」と呼ばれる研究分野は、21世紀の最も重要な科学研究分野の1つです。この「複雑系」の研究をプリゴジンの「散逸構造論」とともに大きく発展させる原動力となったのが、1978年にヘルマン・ハーケンによって提唱された「シナジェティックス (協同現象学)」でした。

シナジェティックスとは、複雑なシステムの中に現れる秩序形成の仕組みを理論的に解明する理論です。この理論により、システムのあまりの複雑さゆえに科学的なアプローチが不可能と思われてきた対象物 (系) に関しても、科学的な視点からの研究ができるようになりました。

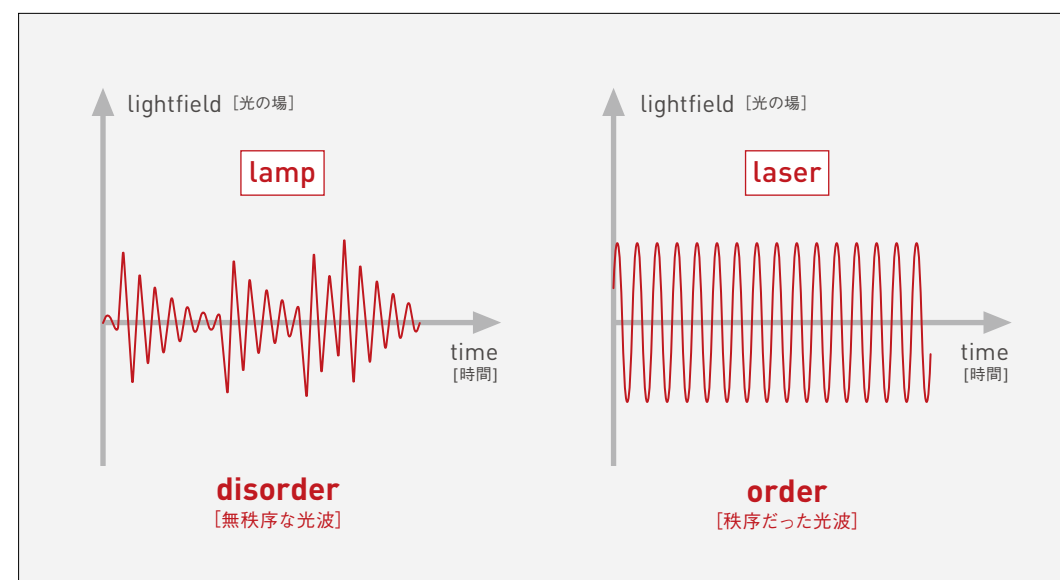
そして、シナジェティックスは、その出自である物理学のみならず、生物学、医学、工学、経済学、社会科学などに学際的な影響を及ぼし、多くの学問領域において「複雑系」の研究の発展に貢献してきたのです。

1927年にドイツで生まれ、大学では数学と物理学を専攻し、1960年にシュツットガルト大学の理論物理学教授となったハーケンは、まさしく「物理学の王道」を歩んできた研究者でした。そんなハーケンが社会科学にまで影響を及ぼした「シナジェティックス」の理論を生み出すきっかけとなったのは「レーザー (光を発生させる物質)」の研究でした。

レーザーで光を発生させると、その初期段階で、レーザーの中の分子は様々な波長 (周波数) の光を発します。このとき、それぞれの分子の間では、エネルギーの奪い合いが行われます。そして、ある1つの波長の光波を放っている分子が、他の分子との競争に打ち勝つと、他のすべての分子は、勝ち残った分子の放っている光波と同じ波長の光波を放ち始めるのです。

つまり、互いに無関係かつ無秩序に光を発していた分子は、1つの分子の放つ光波があたかも互いに決めたルールでもあるかのように、新たに生み出される「秩序」に従いながら、協同的な働きを始めるのです。ハーケンは、この新たに生まれた「ルール」のようなものを「秩序パラメータ」と名づけました。

さらに、ハーケンは「外から力を加えられたわけでもなく、いわゆる『自己組織化』によってすべての分子がこの秩序パラメータに従い、統一さ



シナジェティックス理論は「レーザー」の研究に端を発する。ハーケンは、レーザー光線の光源として、ごく普通のランプから発せられた全く無秩序な光波が、レーザーへのエネルギー入力が臨界値を超えたとき、突然高度に秩序だった光波に取って代わられる現象を発見した。この際、環境に最も適合して勝ち残った光波を「秩序パラメータ」と呼んだ。一度秩序パラメータが確立すると、この光波のリズムに他の電子が「隷従」し、さらに秩序パラメータの存在を支援するという循環的な因果関係が起こる。この現象を「シナジェティックス」という。

れてゆく状態」について「分子が秩序パラメータに隷従する」という意味の「隷属原理」として定義しました。

言い換えるならば、ある1つの系の中に生まれた「ゆらぎ」と呼ばれる特定のエネルギーやモードだけが成長し、秩序パラメータとなって、他のモードを隷従させながら、系全体に対して支配的になってゆき、やがて、前とは全く異なる新しいシステムを構築する、という流れをハーケンは理論化したのです。

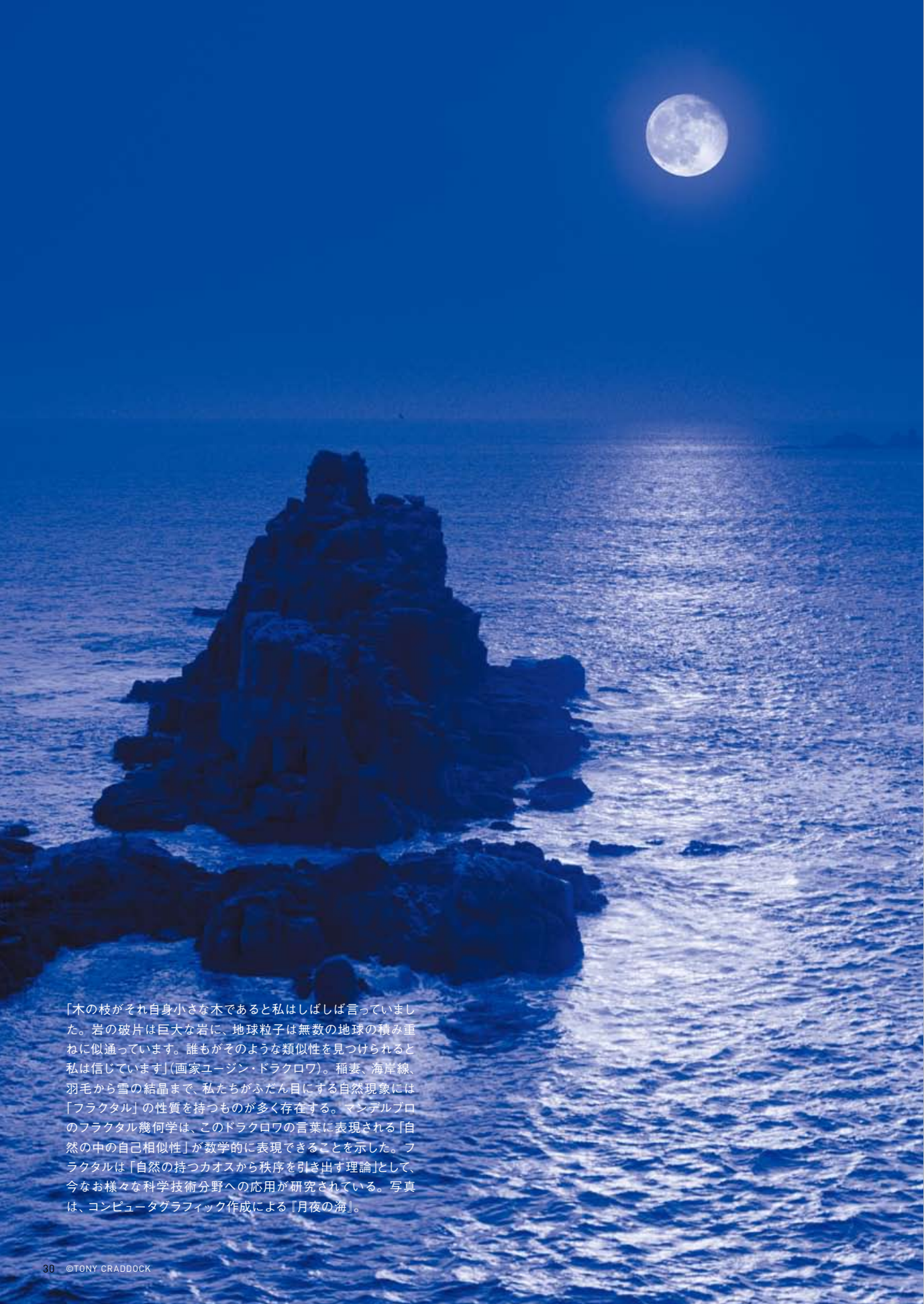
この流れは、ある意味、ダーウィンの適者生存のモデルとも言えます。

秩序パラメータと隷属原理というキーワードを持つシナジェティックスは、地球環境学や社会科学などの「複雑系」に取り組むうえで、大きな力を発揮する理論でした。

ハーケンは次のように語っています。

〈私は、人類は次から次へと生まれるニーズに対応するため、そしてあらゆる困難な問題に適応するのに十分な能力を持つために、テクノロジーを必要としていることに全く疑いを持っていません。人類はエコロジーとテクノロジーの間のバランス、言い換えますと、安定性と適応の間のバランスを見いださなければならないことは明らかだと申せます〉

21世紀に入り、「複雑系」の研究が進歩・発展するにつれて、ハーケンのシナジェティックス理論の果たす役割の重要性もまた高まっています。誕生から30年が経とうとする現在、ハーケンの言うところの「エコロジーとテクノロジーの間のバランス、安定性と適応の間のバランスを見いだす方法」が、シナジェティックスであり、エコテクノロジーであると言えるのかもしれませんが。



「木の枝がそれ自身小さな木であると私はしばしば言っていました。岩の破片は巨大な岩に、地球粒子は無数の地球の積み重ねに似通っています。誰もがそのような類似性を見つけられると私は信じています」(画家ユージン・ドラクロワ)。稲妻、海岸線、羽毛から雪の結晶まで、私たちがふだんに目にする自然現象には「フラクタル」の性質を持つものが多く存在する。マンデルブロのフラクタル幾何学は、このドラクロワの言葉に表現される「自然の中の自己相似性」が数学的に表現できることを示した。フラクタルは「自然の持つカオスから秩序を引き出す理論」として、今なお様々な科学技術分野への応用が研究されている。写真は、コンピュータグラフィック作成による「月夜の海」。

自然の幾何学にはフラクタルの顔がある

1994年本田賞受賞

ブノワ・B・マンデルブロ

Dr. Benoit B. Mandelbrot



1924年ポーランド、ワルシャワ生まれ。52年パリ大学で数学博士を取得。1953～55年、米国のプリンストン高等研究所の研究員。のちジュネーブ大学数学科助教授、リール大学およびエコール・ポリテクニックの助教授を歴任。1958年IBMのトーマス・J・ワトソン研究所に入所、1974～93年IBMフェロー。1987年米国エール大学数学科教授、2005年同大学名誉教授。バーナード賞、ウルフ財団物理学賞など受賞多数。



変形マンデルブロ集合の断片 (ブノワ・B・マンデルブロ)

現在、さまざまな分野で耳にする「フラクタル」という言葉は、「こわれた」「断片的な」という意味のラテン語の形容詞“fractus”をもとに、ブノワ・B・マンデルブロによってつくられた造語です。フラクタルは、ユークリッド幾何学では扱うことのできない不規則性や断片性を扱うもので、IBMのトーマス・J・ワトソン研究所に在籍中の50歳を超えたばかりのマンデルブロが1975年に「フラクタル幾何学」を発表し、注目されました。

例えば、川の全体の形は、折れ曲がり方など支流の形態と非常に似ています。カリフラワーでは、全体の形と、1つひとつの芽が同様の構造を持ち、その芽を構成する部分もさらに同じ構造を持ち……というふうに、同じ構造が5段階以上もくり返されます。このように「各パーツは全体と相似な形から構成される」という自己相似性を持つものがフラクタル構造です。

逆に、フラクタル理論を利用すれば、1つの形が再帰的に現れることによって、部分の形が全体の形である不思議な形態を作り出すこともできます。これをCGで視覚化すると、複雑に入り組む海岸線や岩肌に覆われた山々、細かく枝分かれする樹木の枝や根、無数の銀河で構成された宇宙の姿など、任意の形をシミュレーションすることで、自然の中に見られるさまざまな“形”をリアルに表現することもできるのです。実際、1980年には、SF映画「スターウォーズ」で惑星の山や地表を描いたCGの作成にフラクタル理論が使われたことをはじめ、現在に至るまで、CG制作に多大な貢献を果たしてきました。

フラクタルは、人間社会、自然界、科学の融合に有力な1つの手法を与えました。そして、現在、非常に単純な(短い)アルゴリズムから非常に複雑な図形へと発展するフラクタルは、カオスから秩序を引き出すための科学的アプローチの1つとして期待され、研究が続けられているのです。

叡智を人類の幸福に

太古の昔から、地球は多様な世界観で満ちあふれています。それらとコミュニケーションを図るための一種のツールとして、人類は科学力と技術力を磨き上げてきました。

しかし、先進国が戦後経済の発展を続ける中、科学技術の展開においては産業の経済優先、つまり、利のみを追求する傾向にありました。一方、科学技術の研究・開発・応用の現場では「文化的で人間性を考慮した視点」の欠けた状況が続きました。その結果、環境問題やエネルギー資源問題、生命倫理問題など、科学技術の発展が一因と思われる様々な問題が、人類の未来を脅かすほどの深刻さで浮かび上がってきたのです。

ただ、これらの問題を解決するために必要な研究分野は多岐にわたっており、極度に専門分化された研究成果を寄せ集めるだけの手法には、問題の根本的解決へとつながる「科学技術」の誕生が期待できません。専門分化した研究領域の壁を取り払い、必要な研究成果を目的に応じて柔軟に統合できるような科学技術の研究開発が成立するためには、そのアグレッシブな試みに見合うほど重要で、かつ公正な“目的”が必要です。1970年代後半、本田財団は、この“目的”を「Humane Use of Human Ideas (叡智を人類の幸福に)」と設定しました。

DISCOVERIES 国際シンポジウム1977 ローマ
「現代文明の巨大危機への認識と対応」

本田財団が主催する国際シンポジウムでは、地球環境と人間活動の調和を図るための広範な議論が、国境や専門分野の枠を超えてかわされている。近年では、特に急速な発展を遂げているアジア地域に焦点を当て、中国・韓国・ベトナム・インドなど活動の場を広げている。DISCOVERIESとは「環境全体のなかで、人間活動にとって何が問題かを発見する」という意味の英文の頭文字をつなげた造語。



例えば医学の最終的な目標が「患者のために」であるように、科学技術の最終的な目的は「人類のために」という統合化された視点のもとにあるはずだと考えたのです。

現在の科学の世界では、複雑化する事象に対応するため、地球環境学や社会システム論など、自然科学と社会科学とが手を結び、グローバルな視点でものを見極めようとする試みが始まっています。ただし、仮に、その試みが目覚ましい発展を遂げたとしても、その成果を現実問題の解決手段である科学技術とどのように結びつけばよいのか、あるいは、社会はどのようにして科学技術による革新の実現をサポートできるのかという問題が残ります。このような革新的な科学技術を実用化し、人類全体のために役立てるには、政治、経済、思想など、すべての障壁を凌駕するかたちで、地球全体を1つのコンセンサスへと導けなければなりません。

これからの社会は、個人の営為と社会秩序とのバランスの維持、あるいは、一国の権利と世界全体の利害との調和など、ますます多極化が進み、一層困難なものになるでしょう。そうした社会の中で、科学技術に携わる我々に必要とされるのは、個人個人の内に、改めて、科学技術のあるべき姿、その最終目標を設定

しなおすことではないでしょうか。

科学と技術の発展が人類を含む地球との共存共生を可能にし、新しい発見、発明が新たな未来を切り拓く……そんな21世紀の科学や技術に携わる人間にとって、大切なのは、科学技術の進歩は「人類のためにある」という志を胸に、社会への広い見識と倫理に立脚した新たなステージ上で、自らの〈夢〉を追い求める——それが、これからの若き科学者と技術者に期待される理想の姿なのかもしれません。

そして、それが実現されたとき、人類は初めて、これから生き残ってゆくために必要な「科学技術」を手に入れるのです。

何千人もの安全や、時には何百万もの人々の幸福が 技術者の手中にあることを忘れてはならない

1982年本田賞受賞

ジョン・F・コールズ
Prof. John F. Coales



1907年英国、バーミンガム生まれ。1929年ケンブリッジ大学で数学・物理学士を取得。同大学卒業後、海軍本部の科学士官長などを務め、1952年にケンブリッジ大学に戻り、65～73年同大学工学部教授。1963～66年までIFAC(国際自動制御連盟)会長、71年から72年までIEEE(電気学会)会長、73～76年まで世界環境資源審議会の初代会長を歴任。数多くの国際組織において指導的役割を果たした。大英勳章第三位受賞。

ジョン・F・コールズは、1963年から66年までIFAC(国際自動制御連盟)の会長を務め、世界が認める「自動制御技術」の権威でしたが、さらには、専門の自動制御の分野に限らず、多くの技術の領域を結びつけたことでも高く評価されています。

コールズは、1971年から2年間、IEEE(電気学会)の会長を務め、1973年には世界環境資源審議会の初代会長に就任するなど、電気・電子・物理・農業工学などの幅広い分野で審議会・学界・研究所などの議長・役員・フェローを歴任。永年にわたり、技術者の数多くの国際組織において指導的役割を果たし、その理論と応用面で、学界および産業界に多大な貢献を残しました。

とりわけ、コールズが熱心に取り組んだのは「発展途上国の発展」でした。このとき、コールズは「自由経済下での技術者の役割」に着目しました。発展途上国が自国の成長を持続させるためには、先進国からの技術移転の推進が必須です。

そこで、コールズが最も重要視したポイントの1つが「指導的技術者の養成」でした。

コールズは「発展途上国の状況はそれぞれ大きく異なり、そこで生じる問題も先進国で経験してきたものと全く違う」という現実的な問題を挙げ、「それぞれの発展途上国において、自国で経験を重ね、不測の事態に対処でき、重要な技術プロジェクトを成功に導ける指導的技術者を育成することが、非常に重要となる」と提唱したのです。

現代にも通じるこのような課題に取り組む姿勢として、コールズは記念講演の最後にこう言及しています。「21世紀の世界を貧困から救うための技術開発を成功させるには、伝道師の持つ情熱をもって、人類に奉仕する技術職を開発しなければならない。そのためには、肌の色、人種、信条、そして、もちろんイデオロギーの違いを問わず、一致協力しなくてはならない」

大量の物質やエネルギーのインプットから コミュニケーション、創造性、 複雑性に依存した社会へ

1995 年本田賞受賞

オーケ・E・アンダーソン
Dr. Åke E. Andersson



1936年スウェーデン、ソルフトオー生まれ。1967年イエーテボリ大学経済学博士。北米都市地域研究所、イエーテボリ大学経済学部経済学准教授などを経て、1979年ウメオ大学教授。1984～86年国際応用システム分析研究所 (IIASA)「地域問題プロジェクト」リーダー。1988年スウェーデン未来学研究所所長に就任。他、OECD、欧州経済委員会、並びにスウェーデン政府の顧問などを歴任。『地域科学並びに都市圏経済』誌の編集主幹を務める。

スウェーデン未来学研究所所長のオーケ・E・アンダーソンは、1995年、未来学を経済学の面から構築した点で評価され、本田賞を受賞しました。1980年に本田賞の授与が始まってから15年目にして、アンダーソンは、記念すべき初の文化系の受賞者でした。アンダーソンの本田賞受賞は「科学理論や科学的アプローチが社会学や経済学など文化系の研究にも積極的に応用される時代」の到来を象徴する出来事とも言えるでしょう。

1936年にスウェーデンで生まれたアンダーソンは、1967年に同国イエーテボリ大学で経済学博士となりました。その後、大学の准教授や客員教授、経済雑誌の編集主幹などを務めたあと、1978～80年、オーストリアのウィーン郊外にある国際応用システム分析研究所 (IIASA) に研究者として参加しました。

そして、1984～86年、同研究所の「地域問題プロジェクト」のプロジェクト・リーダーを務めたとき、このプロジェクトには、シナジェティックスの創始者であるハーケンも参加していました。アンダーソンの経済理論には、シナジェティックスが強く影響することとなったのです。

地球環境問題が深刻化する中、森林資源など自然環境の保全と地球経済の発展の両立を図る理論的なモデルとして、アンダーソンは次世代の社会は、創造性 (creativity)、コミュニケーション容量 (communication capacity)、製品の複雑性 (complexity of products) に依存する次世代の産業社会「C-社会」へ変貌すべきだと提唱しました。

アンダーソンは「創造性こそ21世紀における経済発展の新しいエンジン」と提言しています。経済発展と地球環境の保護という不整合を解決するための全く新しい理論は、創造的なプロセスからしか生まれません。

また、製品の複雑性の増加は、単位生産当たりの実質的な利用価値の増加をもたらします。よって、アンダーソンは「科学技術の発達により製品の複雑性を増せば、自然資源の節約につながる」と分析しました。

C < Creativity
Communication capacity
Complexity of products

さらに、「大量の物質やエネルギーのインプット」に依存する社会から「製品の複雑性」に依存する社会へと移行するためには、個人、企業、地域間のコミュニケーションの容量や取りやすさが鍵になるとも考えたのです。

ただし、創造性や製品の複雑さ、コミュニケーション容量などのような複雑なシステムを有する「C-社会」を分析・研究することは非常に困難です。そこで、アンダーソンが注目したのがシナジェティックス理論でした。

ハーケンはシナジェティックスの中で「急速に変化する相互作用のシステムは、ゆっくりとではあるが確実に変化する動的なシステム (秩序パラメータ) に隷属する」ということを明らかにしました。アンダーソンは、このシナジェティックス理論に基づいて「社会や経済の構造変化、および都市の発展・成長においても、秩序パラメータが支配的な役割を演じる」と提唱し、秩序パラメータを「インフラストラクチャ」ととらえたのです。

インフラストラクチャが完全に機能するまでには非常に長い時間がかかります。しかし、インフラが一度機能し始めると、その影響力は大きいので、地球環境への負担を少なく抑えたままで社会や経済の発展が可能となる「C-社会」への移行が期待されるのです。

環境問題も「ゆっくりとした確実な変化」であることを理解し、今日のように「急激な変化」が著しい時代にくそ、目先の利益や問題だけに心を奪われず、インフラストラクチャへの投資を怠ってはいけない——そうアンダーソンは警告しているのです。

遙かなる星へと向かう宇宙船、携帯電話、GPS、インターネット、高度な自動車技術、超高速列車……。現代のテクノロジーは驚くべき速さで発展を遂げています。経済もまた、「競争と適者生存」というダーウィンの原理に従って進化を続けています。

その中において、現在、人類の幸福と一層の発展に脅威を与え、人類の生存をも脅かしかねない非常に大きな問題が新たに起きていることは、人々の周知するところとなりました。二酸化炭素の排出、大規模な洪水、雷雨や異常な乾期、河川や湖沼の汚染などに見られるように、環境破壊が進んでいることは明白です。一方で多くの動物も絶滅の運命をたどっています。そして同じような退廃過程は、人類の文化においても起きています。次々と少数言語が消えていき、特定の文化価値や習慣が切り捨てられようとしています。

このような負の発展に対処し、私たちの持つ「物的価値」とともに「非物的価値」を維持していくために、私たちは何ができるのでしょうか。

世界では自然環境の保護に向けた力強い活動が起こり、日本やドイツのように国政府がその活動を応援している例も見られます。科学者は、様々な予測シナリオをもとに研究を行っています。私は、専門分野である「シナジェティクス」において、レーザー光源のような技術システムから経済・社会システムまで、広い範囲における複雑なシステムの挙動を研究してきました。その研究結果を今日の状況に応用すると、「無差別な競争に対し、思慮に富んだ協力をもって打ち勝っていかなけれ

ばならない」という結論に達します。今、最も必要なのは、生態、経済、技術、そして（決して忘れてはならない）文化的価値の保存が深遠で不朽の調和を成し遂げられることを目的とした、集団的態度を多くの人々と共有することです。言い換えれば、過去何年間かの間に生まれ出た新たなパラダイム（倫理的枠組み）、すなわち「エコテクノロジー」が必要なのです。エコテクノロジーの実現は若い世代の力にかかっていますが、そのような継承者の手助けをするのは、私のような古い世代の義務でしょう。今、私がここで言わんとすることは、故本田宗一郎氏と氏の遺志を継ぐ財団が追求してきたことそのものです。

本田財団は、真の意味での人類の文明の創造という考えを広めていくだけにとどまらず、この目的の達成のためのさまざまな方法に積極的に取り組んでいます。本田財団がそのミッション「叡智を人間の幸福に」を達成する上で非常に重要な役割を果たしていくと信じています。



ドイツ、第13回本田賞受賞者

ヘルマン・ハーケン

Hermann Haken

地球環境問題という新しい視座

持続可能な発展を目指して

Think globally, Act locally

地球を共有する同志として

Sustainability

地球の自浄能力を遥かに超えた産業活動は、地球環境問題という人類存亡の危機を引き起こした。その影響が顕著になり始めた20世紀後半、地球レベルで具体的な解決法の模索が始まった。だが同時に、自然環境の相関関係から生じる環境負荷軽減対策の歪みや、南北問題に代表される各国の経済発展事情など、その取り組みには多種多様な問題の解決が不可欠なことも明らかとなった。既存の枠組みを超えた協力や連携に基づく研究・開発なくしては解決できない地球環境問題に対し、科学者や技術者が向かうべき方向性を探る。

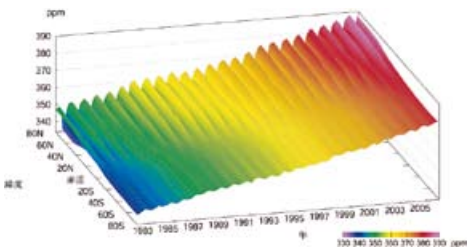
地球環境問題という新しい視座

地球環境問題（環境問題）という言葉は20世紀末に登場し、21世紀以降、環境問題は各種メディアで喧伝され、すっかり身近なものになりました。その結果、私たちは環境問題を通して「人類は“地球”という1つの閉じたシステムの中で暮らしている」「現在の生活を支える資源は有限である」「経済活動に伴って二酸化炭素を大量に排出したり、大気や水を汚し続ければ、自然のバランスを損ない、人類が生存できない環境になる可能性が高い」ということに気づいたのです。

環境問題は解決が非常に難しい問題です。なぜ難しいのか、その理由を公害問題と比較しながら、整理してみましょう。

1960年代、日本を含む先進諸国では、工場からの排水・排煙による水質や大気の汚染、いわゆる「公害」が社会問題となりました。公害問題では「汚染物質を処理せず、大気中や河川あるいは土壤に垂れ流した加害者」が存在し、「それによって健康を損なわれた被害者」がいるという加害と被害の構図がはっきりしていました。ですから、加害行動さえ規制すれば、問題は一応の解決をみました。

ところが、環境問題の場合、二酸化炭素など温室効果ガスによる地球温暖化、それに伴う降水量の変化や砂漠化、フロンガス等による



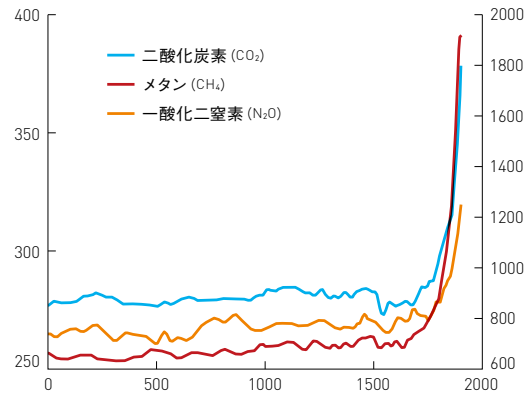
北極から南極までの大気中の二酸化炭素濃度の変動（気象庁）

年を追うごとに二酸化炭素濃度が高くなっているのがわかる。特に北半球は南半球にくらべて陸地が多く、人間活動に伴う化石燃料の消費により二酸化炭素濃度も高くなっている。1983年から2005年の期間で平均してみると、全ての緯度帯では1.6～1.7ppm/年の割合で増加しており、この10年間では平均で1.9ppm/年の割合で増加している。



0年～2005年までの温室効果ガスの大気中濃度

世界の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)及び亜酸化窒素(N₂O)の大気中濃度は、1750年以降大きく増加しており、産業革命以前の何千年にもわたる期間の値をはるかに超えている。IPCC第4次評価報告書では、温暖化の原因は人為起源の温室効果ガスとほぼ断定している。



オゾン層の破壊、酸性雨など、問題の原因の背景には、利便性を求めてエネルギーを大量に消費するライフスタイルがあるので、誰もが加害者の可能性を持っており、公害問題のように加害行動を特定できないのです。

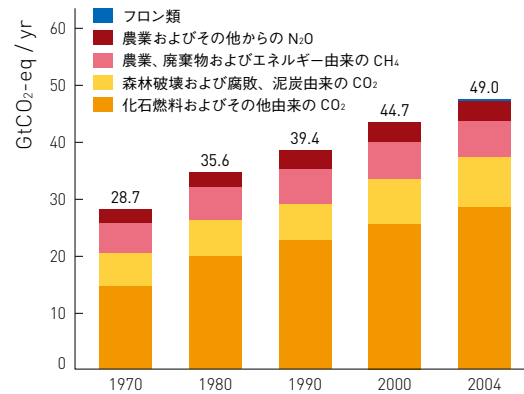
もう1つ、環境問題の解決を困難にしている条件があります。それは「環境問題の多くが、その因果関係を科学的に立証されたわけではない」という事実です。

例えば、現在でも二酸化炭素による地球温暖化に異論を唱える科学者がいます。異論の根拠は、地球温暖化が単純なイエス・ノーで語れるものではなく、科学的には不確実性の中にある現象だからです。地球温暖化では、資源や富の偏在を含むあまりにもたくさんのファクターが、さまざまなレベルで絡まり合っていま

1970～2004年の世界の人為起源温室効果ガスの年間排出量

人間活動による世界の温室ガスの排出量は増加し続けており、1970年から2004年の間に70%増加している。

(出典：IPCC第4次評価報告書)



す。それらが変化すれば、温暖化ではなく、寒冷化へと、結果自体が大きく変化してしまう可能性もあるのです。地球温暖化予測に「シナリオ」という考え方の枠組みが用いられているのは、そのためです。

しかし、現在想定される最悪のシナリオが現実となったとき、環境問題の最大の被害者ははっきりしています。それは、私たちの子孫、すなわち未来の人類です。「いま必ずしも顕在化していないリスクに何らかの手を打つことで、未来の人類への責任を果たそう」という思いこそが、地球環境問題への取り組みを根底で支えているのです。

人類の生存環境の浄化にとどまらず、より健康な地球環境を未来の子孫へ

2002年本田賞受賞

バリー・ジョン・クーパー
Dr. Barry John Cooper



1942年英国、ベッドフォードシャー州生まれ。1964～77年英国のジョンソン・マッセイPLCテクノロジー・センター勤務。1976年ロンドン大学博士号取得。その後ノルウェーのトロンドハイム大学応用化学部附属SINTEF研究所に。1979年より米国ジョンソン・マッセイINCに勤務。主任サイエンティスト、開発マネージャー、技術部長、技術担当副社長を経て、Diesel Emission Control System担当副社長。



CRTシステム
1995年、世界に先駆けて実用化された重作業車用ディーゼルエンジン向け触媒コンバータ。世界の主要都市で公共サービス車両に搭載されている。

バリー・ジョン・クーパーは、排出ガスによる大気汚染が深刻化し、重大な社会問題となりつつあった1970年代、ジョンソン・マッセイ社においてガソリン車の排出ガス浄化触媒の研究にいち早く取り組みました。当時、技術的に最大の難関だったのは、エンジンの寒冷始動時に出る大量の排出ガスでした。触媒は一定の動作温度まで上昇しないと十分に機能しないという昇温特性があるからです。そこで、寒冷時でも触媒が十分働くように研究を重ね、さらに効率よく汚染物質を除去できるよう技術的な改良を加えながら、プラチナ族を使った三元触媒の開発に成功しました。この触媒は汚染物の3成分(窒素酸化物、炭化水素、一酸化炭素)を同時に浄化するという画期的な技術です。

プラチナ族を使った三元触媒は、その後も改良を加えながら、ガソリン車の最も有力な排気浄化手段としての地位を占め続けています。現在は生産コスト削減のため、プラチナ族の使用を極力減らした超低貴金属触媒システムを用いて、厳しい排ガス規制をクリアすることが可能になっています。

クーパーは、さらに近年大きな課題となっているディーゼル車向け触媒システムという困難な課題にも取り組みました。ディーゼルエンジンの黒い排気には炭素が粒子状に凝集生成した固形炭素球・PM粒子が含まれており、肺に吸引されるとガンを引き起こす恐れがあります。そこで、ディーゼル排気からPM粒子を除去する連続再生式トラップ(CRT)システムを開発しました。この燃費の悪化を伴わない先進的な排出ガス対策技術は、世界的に高く評価されています。

クーパーの試算では、彼の発明に基づきジョンソン・マッセイ社の触媒技術が地球環境から取り除いた汚染物質は、本田賞受賞の2002年現在、一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物を合わせて40億tです。ディーゼル排気のPM粒子を加えると、触媒が取り除いた汚染物質の量はさらに増えることでしょう。

持続可能な発展を目指して

科学技術や経済発展も大切です。しかし、これまでのようなやり方では、いずれ限界が来てしまいます。その認識のもと、1987年に国連主催の「環境と開発に関する世界委員会」で提唱されたのが“Sustainable Development”（持続可能な発展）という概念です。持続と発展のどちらに重点を置くかは、言葉を使う人によってさまざまですが、少なくとも「温暖化をこれ以上進めない」「資源を使い尽くさない」「環境をこれ以上汚さない」という共通理解が生まれました。

この「持続可能な発展」を推し進めるための考え方はいくつかあります。その1つが「ウェイト&シー (wait & see)」です。平たく言えば「もうちょっと様子を見てみよう」ということ。コスト・ベネフィットからみれば、極めて合理的な考え方です。ただし、この考え方にも問題はあります。すでに1980年代に医師によって危険が指摘されていたにもかかわらず放置され、被害を広げたアスベスト禍などは「ウェイト&シー」の典型的な失敗例と言えるでしょう。

そこで、近年ユネスコが推進するもう1つの考え方が「事前警戒原則 (precautionary principle)」です。これは1992年リオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議 (地球サミット)」以降に出てきた考え方

です。「リスクが予想されるものについては、明確な因果関係が証明されなくても、リスクをあらかじめ避ける方策を取る」という原則です。

例えば、あなたの皮膚に、悪性であることが疑われる「できもの」があったとします。悪性であるリスクを重視し、お金や時間をかけ、痛みや傷跡が残るのを覚悟で切除手術を受けるのが「プリコーショナリー・プリンシプル」の考え方であり、それ以上状態が悪化するかどうか、時間をかけて注意深く観察してみるのが「ウェイト&シー」の考え方です。どちらの方法を取るのがよいのかは、結果が出るまで分かりません。重要なのは、この2つの考え方があることを知って、その間で柔軟に問題に対応することです。

そして、どちらの考え方を採用して対策を練るにせよ、その前提となる情報が不可欠になります。幸い20世紀終わりごろから、精密な環境モニタリングなど、コンピュータシミュレーションに基づく予測が、現実性のあるツールとして使えるようになりました。自然科学の分野においても、人工衛星によるモニタリングなど、観測や計測技術も格段に進歩しました。そのデータを用いることによって、コンピュータシミュレーションの精度がさらに上がるというプラスの循環が働いています。

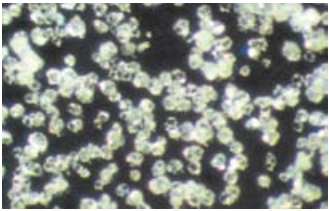
持続可能な人類の発展とは、あらゆる人間活動における質を通じての進歩である

1999 年本田賞受賞

アレクサンドラ・コルンハウザー
Dr. Aleksandra Kornhauser



1926年スロヴェニア、スコフィア・ロカ生まれ。働きながら大学に通い、化学博士号を取得。69年よりリュブリャナ大学化学教授。国際化学組織評議会・科学教育委員会副会長、欧州化学学会連盟・化学教育委員会委員長を歴任。有害産業廃棄物を管理する情報システムを構築し、環境に配慮した生産工程と製品開発に寄与。国連開発計画 (UNDP) による環境と持続可能な開発に関する指導トレーナー、国連大学評議会メンバーを務める。



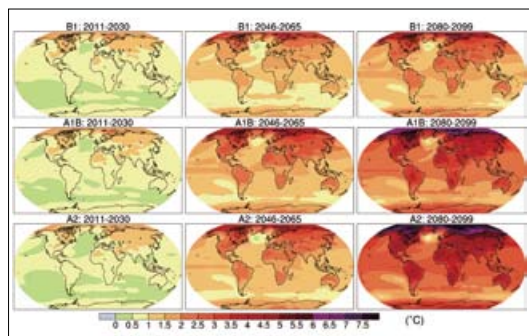
マイクロカプセル
農薬、その他の農業用薬品をマイクロカプセル化することにより、活性物質を長期間にわたって制御しながら環境に放出。有害物質に対して同じ効果を発揮しつつ、その投与量を大幅に減少できる。この技術の応用範囲は広く、ICCSではマイクロカプセル化に関する統合情報システムを開発するなど、広く学際的な協力の機会を提供している。

アレクサンドラ・コルンハウザーは化学博士として、早くから環境問題に取り組んできました。化学製品の生産工程や品質、またそれらの生産や活用における人間との関係の質を高めることで、環境や社会に及ぼす悪影響を未然に防ぐことが彼女のテーマです。

コルンハウザーは、天然産物を活用し毒性を低減した農薬の開発プロジェクトをはじめとして、環境面での技術の改善、有害廃棄物の管理、生産工程および製品の清浄化技術開発の先駆者となりました。その結果は、農産物や食品の生産工程や、化学、薬品、および印刷業界などに広く適用されています。また、化学情報処理の研究を通して、有害産業廃棄物の発生の抑制および管理のための統合情報システムを立案・構築しました。そのシステムは彼女の呼びかけによる学際的な協力の下につくられたものです。また、システムの構築のみにとどまらず、多くの国々がそれを適用するうえで指導的な役割を果たしました。

コルンハウザーは、優れた教育者、コーディネーターでもあります。1980年、リュブリャナ大学に国際化学研究センター (ICCS) を設立。世界中から数百人の科学者を受け入れ、清浄化技術の開発や有害廃棄物の管理、工程および予防に関する活動の初歩を学べる場としました。ここで学んだ科学者は母国へ戻り、多くの国々で環境保護運動を推進する人材となったのです。

彼女は、UNDP、UNESCO、World Bank、ILO等数多くの国際的な委員会や学会の重鎮として、国際的、学際的な科学者のネットワーク化を図り、特に開発途上国における持続可能な発展への取り組み支援に力を入れています。環境問題に貢献した若い研究者を表彰するプロ・ナチュラ賞の創設者でもあります。



SRESの温室効果ガス排出シナリオ (B1、A1B、A2) 別
 年次平均表面温度 (地上気温度変化)

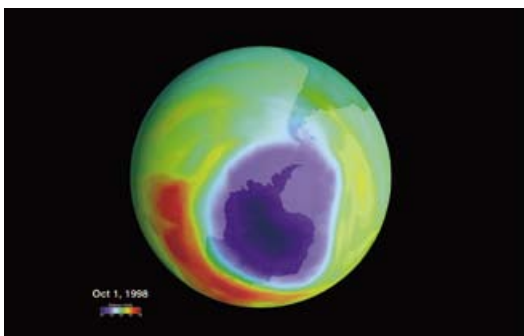
(左)2011-2030年 (中)2046-2065年 (右)2080-2099年の
 3つの時間におけるマルチモデル

B1: 持続発展型社会シナリオ
 A1B: 高成長社会シナリオ、各エネルギー源のバランスを重視
 A2: 多元化社会シナリオ

※SRESシナリオは追加的な気候変動対策を含まない。いず
 れのシナリオも気候変動枠組条約や京都議定書の削減目標が
 履行されることを明示的に仮定していない。

※SRES(Special Report on Emission Scenarios, IPCC 2000)

(出典: IPCC 第4次報告書)



1985年、イギリスの気象学者ファーマンは、人工衛星の観測に
 より、地球に降り注ぐ太陽の紫外線を99%さえぎるオゾン層に、
 南極上空で穴が空いていることを確認した。これを受け、1987
 年には53の工業国がオゾン層破壊物質であるフロンの使用を
 2000年までに全廃する〈モントリオール議定書〉に署名するなど、
 世界各国で対応が進んだ。人類は地球の周りを飛ぶ無数の衛
 星や映像解析技術を駆使し、環境モニタリングを行うことで、自
 然災害の予測や気象状況を観測し、温度分布、砂漠化状況など
 を正確に把握できるようになった。

コンピュータシミュレーションには最先端の科学的知見と最新テクノロジーの両方が投入され、さらに進化を続けています。そのシミュレーションから構成されたシナリオに基づいて、地球温暖化については、1988年気候変動に関する政府間パネル(IPCC)という、科学者がコンセンサスをつくり、各国の政策決定者へ提言する枠組みもできました。

科学技術の進歩によって、私たちは、一見各地でばらばらに起こっているように見えた問題が地球規模でつながっていることを知りました。その結果、未来に向けて、より効果的な対策を考える素地が生まれたのです。

Sustainability 持続可能な発展を目指して



地球の科学的な観測は 永続的に必要なことであり、完全な義務である

1998 年本田賞受賞

ユベール・キュリアン

Dr. Hubert Curien



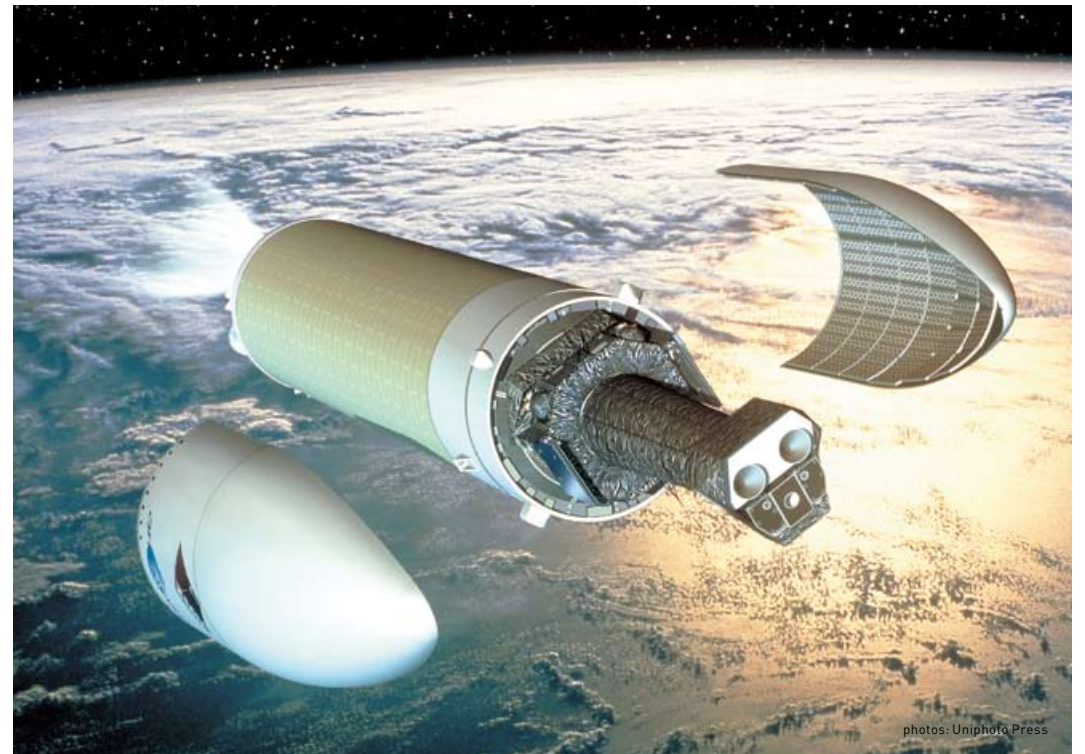
1924 年フランス、コルニモン生まれ。パリ大学で物理学を学び、1956 年同大学理学部教授。フランス国立科学研究センター所長、科学技術研究長官、ヨーロッパ科学財団会長、欧州共同原子核研究機構評議会会長などを歴任。結晶学の研究と講義を行う一方、フランス、および国際組織で科学・技術政策の指導的な役割を果たした。またフランスで3つの内閣の科学・技術大臣を歴任。レジオン・ドヌール2等勲章、大英帝国勲爵士など、受賞多数。

ユベール・キュリアンは、まず結晶学者として研究者のキャリアをスタートしました。その当時、結晶学の世界では、X線回析により原子配列の周期格子の中で起こる結晶構造の欠陥を観察し、結晶に関する知見を深めていこうという試みがなされていました。原子炉の普及に際し、放射線によって固体に生じる損傷をすべて予測する必要があり、そのためには結晶構造の欠陥に関する研究が不可欠だったからです。

原子の自然な熱運動の実験的研究方法をX線拡散によって示したジャン・ラバルに師事していたキュリアンは、鉄結晶中のエネルギー量子フォノンの完全な解明を行うことに成功しました。その後も、彼は40年の長きにわたり、パリ大学で結晶学の研究と、学生への講義を行ったのですが、そこで着目したのは、結晶の持つわずかな欠陥（あるいは不規則性）をコントロールすることで生じる材料工学上のメリットでした。極めて少量の欠陥が、結晶物質の最も重要な性質を支配することが可能であり、その調整、つまり完璧に制御した方法で不規則性を導入することによって、すばらしい用途が開けるのだとキュリアンは言います。

一方でキュリアンには、宇宙研究に直接関わり、ヨーロッパの宇宙探査推進に多大な貢献をしたというもう1つの顔があります。そのため、彼の洞察は結晶の世界にとどまらず、エンジニアリング一般にも向かいました。技術が完璧でも人間の単純ミスが重大事故につながったケースが多いことから、それを避けるためには人間と機械の関係について、文理を超えた幅広い研究を行う必要があること、またロケット開発の現場においても、一定のスケールにおいて達成された完璧さは、規模やパワーが保持されないため、常に見直しが必要なることを指摘したのです。彼はフランスのみならず、ヨーロッパ科学財団会長、欧州共同原子核研究機構評議会会長など、国際的な組織で指導的役割を果たし、科学・技術政策の決定の場を通して、地球環境保護活動にも貢献をしてきました。

彼は宇宙開発の中でも、特に人工衛星を利用した地球観測システムの推進に力を入れました。まず、1970年代後半には、フランスの国立宇宙研究センター(CNES)の所長として地球観測システム(SPOT)をスタートさせ、1979年には打ち上げロケット「アリアン」を開発し、西欧



(上)アリアン搭載の気象衛星

(下)アリアンロケット

キュリアンは、フランス国立宇宙研究センター所長とヨーロッパ宇宙機構の議長として、アリアンIからVまでを「アリアン」ロケット・シリーズとして建造し成功させた。宇宙技術の発達は、電気通信、天気予報、深宇宙実地調査など多くの分野に新たな領域を開くとともに、地球上のいかなる場所も定期的なモニタリングを可能にした。

で初の衛星打ち上げを成功させました。その後も、ヨーロッパ宇宙機構(ESA)の評議会議長として、地球観測や地球管理を目指した計画を推進し、1992年の国際宇宙年には「国際宇宙年の宇宙機構フォーラム(SAFICY)」の議長に選ばれたのです。

気象や気候変動に関する研究は、まずコンピュータの性能向上、多数のパラメータからなる数的モデルによるシミュレーション技術、観測によるデータの3つが相互に補い合いながら進化しています。この分野の研究は、人工衛星を用いて大気や海洋の振舞いを詳細に観測し、それをコンピュータで解析することで、飛躍的に進歩しました。キュリアンの業績は、現在の地球温暖化問題や気候変動の研究に直接つながっています。人工衛星という宇宙からの目によって、人類の活動が地球環境に与える影響を客観的に評価し、いち早く対策をとることが可能になったのです。観測やシミュレーションの結果を、分かりやすく伝えるビジュアル化の手法も進んでいます。

最後に、宇宙探査へのキュリアンの業績をたたえるため、2004年に宇宙探査機ホイヘンスが土星の衛星タイタンに着陸した地点は、2007年にユベール・キュリアン・メモリアル・ステーションと名づけられたことを付記しておきます。

化学物質の正しい使い分けが公共の利益を守る

2001年本田賞受賞

ドナルド・マッケイ

Dr. Donald Mackay



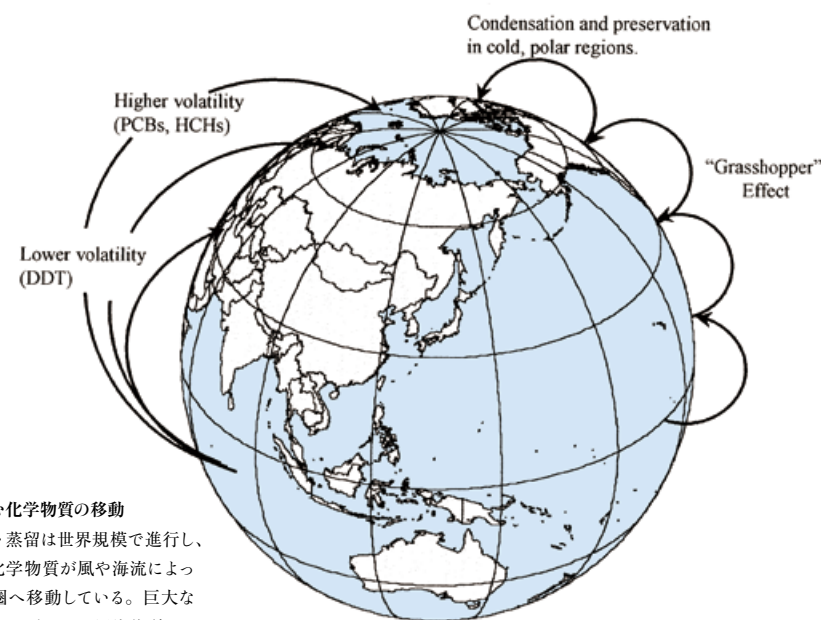
1936年スコットランド、グラスゴー生まれ。グラスゴー王立技術大学で応用化学理学博士、化学技術ARCST、化学工学博士号を取得したのちカナダに渡り、トロント大学化学工学・応用科学部でO・トラス教授と衝撃波管の共同研究を行う。その後、英国ICI社重有機化学部の化学技術研究員を経て、1967年トロント大学化学工学・応用化学部教授。1995年からトロント大学環境資源研究所教授。トロント大学環境モデリングセンター長。

ドナルド・マッケイは、カナダ自然科学・工学研究所 (NSERC) からの支援を受けながら、環境内における化学物質がどのように移動・拡散・蓄積されていくのかという研究を長年続けてきた、環境科学のパイオニアです。これまで人類は化学物質の取り扱いに関して多くの過ちを犯してきており、それは化学物質の挙動や生態系に及ぼす影響への知識が不十分であることに起因しているとマッケイは言います。地球上ではこれまでに約2千万種類の化学物質の存在が確認されており、そのうちの5～10万の化学物質が商用生産されています。マッケイはいたずらに化学物質すべてを否定するのは現実的でないとし、化学物質の評価および有害性の診断に基づき必要な規制を行うとともに、環境に害を及ぼさない物質への代替を進める「エコ・ケミストリー」の考え方に立ちます。そこで彼は、化学物質の負の効果を最小化し、最大限の有益性を引き出すために、化学物質の挙動を数式化して、コンピュータ・シミュレーションによって結果を予測する方法を研究してきたのです。

1970年ごろ、カナダ領北極圏で石油とガスの生産計画が提案され、原油の流出による北極圏の生態系への影響が懸念されたため、マッケイは流出石油の挙動に関する研究を行い、その挙動を予測するとともに、流出の際の効果的な対処方法を突き止めました。石油流出の流動運動と流出油が環境に及ぼす影響を表現する解析式、及び数式モデルの構築は高く評価され、現在に至るまで活用されています。

その際に着目したのが、環境に放出された物質がある媒体から別の媒体へ移ろうとする一種の圧力であるフガシティ(逃散傾向)でした。マッケイ教授は、フガシティの概念に基づいた環境モデリング理論の創始者であり、化学物質が空気、水、土壌、海底等のさまざまな自然環境の中でどのような経過をたどって終息していくかを包括的、且つ体系的にモデル化した「マッケイモデル」により、環境分野への多大な貢献をしました。

フガシティによる予測計算は、世界的な化学メーカーが新しい化学物質を開発する際にも用いられています。彼自身、フガシティの概念を環境保護に利用することを思いついたのは、化学業界でエンジニアとし



世界規模ですすむ化学物質の移動

汚染物質の凝縮・蒸留は世界規模で進行し、その影響により化学物質が風や海流によって運ばれ、北極圏へ移動している。巨大な冷蔵庫に例えられる北極では、汚染物質までもが良好な状態で長期「保存」され、次第に濃縮される。



写真は、2007年12月に起きた超大型タンカーHebei Spirit号とバージ船の衝突による原油流出事故。韓国の泰安沖で起きたこの事故は、近年では世界最大の原油流出となった。

て働いた経験があるからであるとし、環境保護に関する産業界の科学者の役割を重く見えています。なぜなら、予測結果の正確性には、環境科学に携わる人々による排出量データの正確かつ適正な収集、環境の状態の解析、よりよい予測モデルの開発、行政による適切な管理と規制が必要であり、それには化学物質の生産者である産業界の役割が大きいです。各界の一致協力がなければ、エコ・ケミストリーの原理原則は貫徹できないと、マッケイは言います。

マッケイの研究業績の及ぼした影響は大きなものでした。国連プログラムのもと各国が協力して汚染化学物質の規制に取り組みはじめ、2001年には「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」が127カ国の合意によって採択されました。この条約は特定の農薬や化学物質の削減と廃絶を謳ったもので、大きな意義のあるものです。

また、この分野の研究の進展につれて、汚染化学物質はそれが使用された地域にとどまらず、遠く離れた地域へと拡散していることが分かってきました。例えば北極圏では直接化学物質が使われていないのに、風や海流により運ばれた汚染物質が長期間保存され蓄積されています。そのため、今後は地球規模の化学物質の挙動という広範囲かつ複雑なものを対象に、正確にシミュレーションや予測を行い、産業界や国際社会がそれに基づいた対策を取ることが求められています。

Think globally, Act locally

現在私たちが直面している環境問題は、地球温暖化問題、資源（エネルギー・食糧・水）問題、環境汚染問題の3つに大別されます。そして、この3つの問題は相互に絡み合っています。バイオエタノール問題がその典型例です。

温暖化対策の一環として、最近、CO₂排出量の少ないバイオエタノールに注目が集まりました。その影響で、原材料となるトウモロコシの価格が高騰。オレンジや小麦などからの作物転換が進んだため、国際的にトウモロコシ以外の食糧までもが値上がりしました。また、急激な経済発展を進めている国々では、工業化や人口増によって水の需要が増えている一方で、工業化等に伴う水質汚染も進んでいます。そのような発展途上国から食糧やバイオエネルギーを輸入することは、その地域の貴重な水資源を奪うことと同じです。なぜなら、トウモロコシなどの農作物を育てるためには多量の水が必要だからです。

このように、バイオエタノールの問題1つとっても、地球規模で考えれば、環境問題のほとんどすべての要素が関わっています。また、その背景には常に南北問題があり、問題をさらに複雑にしています。

そして、早魃^{かんばつ}による飢餓など、環境悪化によるダメージを最も顕著に受けるのは発展途上

国に住む人々です。水問題でも、裕福な国は淡水化プラントが買えますが、貧しい国ではとても無理です。二酸化炭素の排出規制に対して、すでに豊かさと利便性を享受した先進諸国と、これから経済発展しようとする国々の間で、大きな温度差があるのも当然でしょう。

このような資源や富の偏在が、環境問題をいっそう複雑にし、国家を超えた地球規模での対策をとろうとする際に、大きな壁として立ちだかっているのです。

使い古された言葉ではありますが、地球環境問題には「Think globally, Act locally」（地球全体を考えながら、自分の住む土地で行動を起こす）という取り組みが大切です。

「Think globally」の視点から充分に検討する必要があるのは先の事例からも明らかです。二酸化炭素排出量の削減や環境汚染、食糧問題との兼ね合いなど、環境問題に属するすべての要素が複雑に絡まり合ったトレードオフの中にあることを理解した上で、解決に向けた多様なアプローチが行われる必要があるでしょう。幸い地球規模で問題の全体像を把握し予測するシミュレーションなど、科学的な知見は進んでいますし、インターネット等を通じて地球環境に関する情報を手に入れ、地域や国を超えて同じ問題を抱える人たちと技術的なこと



南アジアのほとんどの地域では、水汲みは女性と子どもの仕事で、1日に何時間も費やし水を運ぶ（写真は、インド・ラジャスタン州）。開発途上地域で安全な飲料水源を利用する人々の割合は全体に改善しているが、現在にいたっても約11億人が不衛生な水を利用している。（出典：国際連合）

に関して情報交換することも容易になりました。「Think globally」が可能な環境は整いつつあります。

あとは「Act locally」、つまり地域ごとに固有の社会的な制約や経済的な制約を勘案しながら、効果的な方法、いわば「Less Conflicting Solutions（より摩擦が起きずにうまくいく解決法）」を考え、それを積み重ねていくことです。その解決法が必ずしも多額の費用をかけた最先端技術である必要はありません。最先端技術が有効なこともあります。むしろ問われるのは「与えられた過酷な条件の中で、いかに多

くのLess Conflictingを実現できるか」なのです。

この考え方は、利用者や消費者からの相矛盾する要求に対応しつつ、制約の多い条件下で知恵を絞る技術者にとって、日々の仕事の延長線上にある考え方だといえるかもしれません。持続可能な発展に貢献する技術開発は、今切に求められ、これからの技術者に期待が寄せられているのです。

世界のエネルギーの将来について 戦略的な考察が必要不可欠である

1984年本田賞受賞者

ウンベルト・コロombo
Dr. Umberto Colombo



1927年イタリア、リボルノ生まれ。1950年パピア大学物理化学博士。OECD科学技術政策委員会の専任研究員および委員長、欧州産業研究管理協会会長を歴任。1977年にローマクラブ第4報告書「浪費の時代を超えて」で、エネルギー・資源・食料を確保する技術開発と浪費抑制策を提言。1979年よりCNEN(現ENEA:イタリア国立エネルギー研究機関)総裁。EC科学技術委員会委員長、国連科学技術諮問委員会委員長等の重責を務める。

ウンベルト・コロomboは、イタリアでエネルギーや科学技術関連の政府の要職に就く一方、EC科学技術委員長や国連科学技術諮問委員会委員長として、エネルギーや食糧を含む資源の公平な配分という視点から、地球環境問題への提言を行ってきました。コロomboの論文や提言には、科学技術はもちろんのこと、社会システムや国家間の利害関係、南北問題に広く目配りしながら、調和の取れた持続可能な社会をめざそうという、現実的かつ強い意志が感じられます。

彼の名を広めたのは、1977年にD・ガポールとの共著で発表されたローマクラブ第4報告書「浪費の時代を超えて」でした。これはまさに、今言われている持続可能な社会の必要性を訴えたものでした。

特に重要視していたのがエネルギー問題です。本田賞受賞の1984年時点、2度の石油危機を経験したコロomboは、エネルギー、技術、社会の3つが密接に結びつきながら移行期を迎えていると考えました。

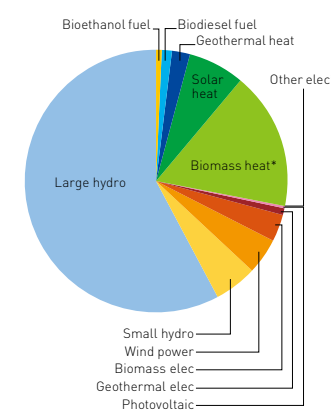
人間の歴史には、エネルギーの移行期がいくつかありました。木材資源の枯渇による石炭への移行、そして都市化に伴ってより輸送が簡単で応用範囲の広い石油への移行です。このように、主要なエネルギー源が、より使いやすい、しかも単一の資源へ移行することを、彼は資源の「下降型」移行と名づけました。しかし単一エネルギーによる下降型移行とそれに基づく生産・流通システムは限界を迎えており、今後は多様性に富むエネルギーと、情報に基盤を置く脱工業化社会に応じたシステムが必要になる、つまり「上昇型」移行の時代であると考えたのです。

今後のエネルギーとして、コロomboは当時、原子力や太陽光発電、核融合等による新しいエネルギー技術、さらに技術革新によって天然ガス、石炭、地熱、オイルシェール、瀝青砂岩、バイオマス等の従来型エネルギーの他、風力、波、潮流、海洋の熱勾配をエネルギーとして活用できる可能性を示唆しました。また、どれか単一のものだけに未来のエネルギーを託すのではなく、それぞれの特質や利点を活用し、組み合わせることを提唱しました。加えて、特にエネルギーは環境に与える影響が多いため、これらのエネルギーの活用には、安全性と環境への配慮が非常に強く求められることを指摘したのです。



写真はドイツ、ベルウォルム島。環境先進国である同国は2020年までに総電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%に引き上げ、これによってCO₂の排出量を40%削減することを目標に掲げている。

2005年時点での世界での
再生可能エネルギーのシェア



*や**の印のものは2004年のデータ。系統連系されていない電源や地熱ヒートポンプ、再生可能な可燃性ゴミの燃焼を含まない

再生可能エネルギーは2004年時点では全世界の一次供給エネルギー(TPES)の13.1%を占めていた。そのうち10.6%がバイオマスなど可燃性のものであり、それに水力(2.2%)、地熱(0.4%)が続く。発電分野では17.9%を再生可能エネルギーが占め、その大半が水力であった。近年は風力発電など、大規模水力発電以外の("non-Hydro")再生可能エネルギーの利用が伸びている。(出典: IEA renewables fact sheet)

今後成長が予想される、情報、ロボット、バイオテクノロジー、新素材はいずれもエネルギー集約性と原料集約性が低く、経済システムはいずれ完全に変わるため、GNPのレベルを維持しながら、使用する資源量を減らす余地はあると、コロomboは言います。現在、最も柔軟性が高いエネルギーの形態は電気であり、実際に先進諸国では電力需要のみが増え続けていること、電気を作り出すには、水力、原子力、化石燃料、地熱、蒸気、太陽エネルギー、核融合など、多様なエネルギーを利用できるという利点があり、廃棄物、バイオマス、風力、太陽電池等、地域分散型の再生可能資源も使用することができるため、最も使い勝手のいいものであると考えました。

エネルギー技術の進歩により、先進工業国が享受してきた利便性をみんなで分かち合うこと。そしてその先に、物質の豊かさのみではなく、人として真の豊かさを実現できることをコロomboは願っていました。

彼が当時挙げたエネルギー以外にも、燃料電池が新しいエネルギーとして加わり、核融合はまだ実現化は遠いままです。しかし、多様なエネルギー源をバランスよく使い、地域の実情に合わせた効率的な使用を行うことで資源の無駄遣いを避けるという方法は、すぐれて今日的なものです。持続可能な社会を実現するエネルギーに関連する技術開発は、現在さらに重要なものとして、各国の研究開発者、技術者がしのぎを削っています。

地球を共有する同志として

環境問題は、解決のために専門分野を超えたコラボレーションが必要になってきます。科学技術はもちろん、社会的、経済的、あるいは文化的側面からのアプローチも必要です。エネルギー消費量の多いライフスタイルが環境問題を招いているという視点からすれば、その解決には一般の人々の幅広い関与が不可欠なものとなり、専門家と素人の壁もまた越えられることになります。

最近でこそ、科学者たちが社会的な発言を行ったり、あるいは求められるようになりましたが、かつて科学者は自分たちの好きなテーマを追究していればよく、経済や生活の現場に近い技術者たちとは距離がありました。

ところが、環境問題という枠組みの中では、科学者が自分のやりたいテーマを追究し、技術者も自分の目指す技術水準を追究していった結果、両者が思わぬところで出会うことが増えています。先に述べたコンピュータシミュレーションはその典型かもしれません。気象学者、海洋学者、生物、化学の研究者など、自然科学系の科学者が各自のテーマを追究するために求めていたツールと、コンピュータ技術が出合った結果、環境に関する知見は大幅に拡大したのです。また、コンピュータが処理したデータを分かりやすく見せるビジュアライゼーシ

ョン技術の発達とは、一般の人たちの環境問題への関心を深めることになりました。

このような出会いが生まれる背景として、1つにはインターネットに代表される情報技術の進展が、異なるバックグラウンドを持つ人たちの間の情報のやり取りを、飛躍的に増やしたことが挙げられるでしょう。また、このような情報のグローバル化の一方で、専門家の深い知識が狭くなりがちで、知識を補完するために、地域コミュニティの中で長年積み重ねられた常識や知恵、いわゆる「ローカル・ナレッジ」を、もう一度見直し活かしていこうという機運も生まれています。

このように環境問題では、まったく異質の関心やバックグラウンドを持った人々が共通の課題に取り組み、そこでの意見のぶつかり合いや相乗作用から、今までになかった画期的なものが生まれる可能性をはらんでいます。

これから科学や技術の世界を目指す若い人たちには、立場や視点、専門分野の異なる人たちとの議論を楽しみ、意見のぶつかり合いや相乗作用から、環境問題の解決につながる画期的なテクノロジーを生み出すことが期待されています。

地球環境問題に本気で取り組んでいくためには、知らない場所で苦しむ人々たちへの想像

地球を建造物で固定してしまってはならない

1990 年本田賞受賞

フライ・オットー
Dr. Frei Otto



1925年ドイツ、ザクセン州生まれ。ヴァーゲン大学で社会学、都市計画を研究し、1952年ベルリン「独立建築士」の称号取得。1964年シュツットガルト大学軽量建築研究所教授兼所長。1969年アトリエ・ヴァルムブロン開設。1973年ワシントン大学芸術・建築学博士。1980年パース大学（英国）名誉科学博士。2000年には紙を用いたハノーヴァー万博・日本館を手がけ、2006年には第18回高松宮殿下記念文化賞を受賞。



ミュンヘンオリンピック競技場

フライ・オットーが従来の建築のイメージに疑問を抱いたのは、第二次世界大戦への従軍経験がきっかけだと言われています。ナチス政権を経験したこの世代のドイツの建築家たちは、大きさや不朽という価値観に強い不審を抱くことになったのです。オットーの建築物は中でも特に可変性や柔軟性に富んでおり、しかも軽みをもち美しいものです。彼はケーブルネット構造や膜構造を用いた建築物を多く手がけ、吊り構造を用いた軽量建築の世界的権威とみなされています。

1964年、彼はシュツットガルト大学に軽量構造研究所を設立しました。エンジニア、生物学者、物理学者、哲学者らとともに学際的な研究に取り組み、自然科学の研究成果を建築に取り入れることで、超軽量・高性能の建築物を可能にしました。この研究成果が結実したのが、67年のモントリオール万国博覧会ドイツ館や、72年のミュンヘンのオリンピック競技場の屋根でした。ケーブルネット構造や膜構造を駆使した大空間は、シャボン玉の実験などから、最適な曲面が計算され、自然と調和した建築物として高く評価され、建築界に多大な影響を与えたのです。

建築は人間と自然を守るための手段だとオットーは言います。建築はあらゆる人間、特に貧しい人や弱者、母親や子どもたちにとって善良なものであることが大切であり、そこには愛に根ざした美しさが伴うべきものだと考えました。そのためには自然を支配しようとするのではなく、人間、環境、自然との共存に向けて生態学的なアプローチをしていこうというのが彼の基本姿勢です。また、進化の中で最も若い生態系は人間の都市だが、これまでそれが真に健康であったことはなく、「自然の家」「自然の都市の形態」を見つける試みが大切だと言います。

それは単なる理論ではありません。オットーの軽量建築物は、通常の建築物に使用する資材とエネルギーの必要量の5%にも満たない量でその機能を果たすことができます。また建造物が人間社会や環境の一部として及ぼす影響について実験を繰り返すなど、その独創性はいまだ衰えず、建築界にとどまらない強いインパクトを与えています。



©JAXA/NHK

月周回軌道から撮影した月面越しの「地球の入り」画像。月の「地平線」からあたかも日の出と日の入りのように地球が見え隠れする様子を撮影したのは、米国のアポロ宇宙船以来（宇宙研究開発機構（JAXA）の月周回衛星「かぐや」搭載、NHK開発のハイビジョンカメラが撮影）。

力と共感力が必要です。私たちは、他国の人々が直面する問題に対しても、地球という環境を共有するものとして、自らの問題と同じように「ひりひりするような実感」を持って捉え、解決策を練る必要があるでしょう。それがまだ見ぬ未来の子孫への責任にもつながることになります。

Sustainability 地球を共有する同志として

我々は、地球を惑星的な観点から捉えることで、 真の破滅（カタストロフィ）を避けることができる

1985 年本田賞受賞

カール・E・セーガン

Dr. Carl E. Sagan



1934 年米国、ニューヨーク州生まれ。1960 年シカゴ大学天文学・天文物理学博士。スミソニアン宇宙物理学天文台宇宙物理学者、コーネル大学天文学・宇宙科学教授などを歴任。米国惑星協会の創設者および初代会長。マリナー、パイキング、ボイジャーによる惑星探査に指導的な役割を果たす。一般向けの科学書を数多く出版し、特に『コスモス』は大ベストセラーに。テレビシリーズ「コスモス」は 64 カ国で放映された。

カール・E・セーガンは、太陽系惑星探査計画のほとんどに関わった著名な惑星科学者で、一般向けにも多くの科学書や科学記事を執筆しました。特に 1980 年代のテレビシリーズ「コスモス」は、「宇宙のなかの地球、そこに育まれた生命」という新しい視点に、世界中の人々をいざなうことに成功しました。他の惑星と比較すれば、地球が生命のゆりかごとなったことは奇跡に近く、地球環境はかけがえのないものであることを分かりやすく示してくれたのです。現在我々が、地球は 1 つの閉じた系であるとの意識を共有できるのも、セーガンの影響が大です。

セーガンは他の惑星の研究から、地球上で人類が甚大な環境災害を引き起こす可能性がある」と警告を発しました。1984 年に発表した論文で、もしも全面核戦争が起きた場合、核爆発と大規模火災によって大気中に大量のエアロゾルが放出され、「核の冬」をもたらしという理論を展開したのです。大気中のエアロゾルは 1 年以上にわたって太陽光線を遮り、温室効果を部分的に無効にしまうため、地球の気温が急激に低下します。まず光合成を行う植物が死滅することを引き金に、生態系の破壊が進み、飢えと寒さの中で人類が未曾有の危機に陥る可能性があることを示しました。冷戦後も、その危険は完全になくなったわけではありません。また、化石燃料による二酸化炭素排出量が増えると、温室効果によって地球温暖化が進むと指摘しました。彼の危機意識は現在の気候変動に関する研究、特にシミュレーションによる予測研究に受け継がれています。

人類は意図的に、あるいは不注意により文明や人類の存続を危うくし得るほどに、地球の気候を変える力を持ってしまったとセーガンは言います。彼は他の天体を人間の住める環境に作り替えるテラフォーミングのアイデアを持ちながらも、科学技術がまず何よりも地球環境を保ち、さらに豊かにすることを期待していたのです。

エコテクノロジーと言えば、今も狭義の技術概念として理解されることが多いようです。例えば、生態系の破壊をなるべく抑えながら人間の要求を満たそうとする持続可能工学 (sustainable engineering) と同じ考え方というような受け止め方です。

しかし既に30年前、本田財団の偉大なビジョンと使命感は、このような純粋工学的な枠組みの先を見据えていました。エコテクノロジーは技術の科学的、専門的、社会経済的な側面のみならず、その道義的、倫理的、文化的価値の側面をも含めた、全体的なアプローチとして構想されています。それは一個の技術概念に留まらず、私たちの行動に哲学的基礎を与えてくれる壮大なビジョンだと言えます。

人類が「環境の世紀」に足を踏み入れた現在、本田財団の役割は日増しに大きくなっています。人間の健康、社会的正義、持続可能な経済、そして安全と平和——、環境と無関係なものは何一つありません。人類はもはや自然の成り行きに身をゆだねることはできません。自ら変化の道筋を選びとっていく必要に迫られており、ときには公然と異を唱えなければなりません。

行動するなら今です。世界では猛烈な勢いで人口が増え、資源が枯渇しつつあります。廃棄物処理の問題や貧困の問題は一向に解消しません。気候温暖化、海洋資源の減少、動物生息域の破壊、野放図な外来種の移入——、いずれも非線形的な変化です。それだけに予測が難しく深刻な問題ばかりです。

私としては無知の追放に希望を託そうと思います。無知は責任感を培う上で妨

げとなります。知識は太陽と同じように必要なもので、皆に光とぬくもりを与えます。科学者が新たな知の創造と普及に努めるのは正しい行いです。しかし、それだけでは不十分です。彼らは意思決定の場や仕事の場への知識の伝達・導入にもっと力を注ぐべきです。

科学を基礎科学と応用科学に分類して済む時代は終わり、いま「総合知の科学」が求められています。もちろん前提となるのは基礎的な研究成果です。基礎がなければ応用は始まりません。しかし、総合知の科学において基礎の応用は最初のステップに過ぎません。科学者に求められるのは、むしろ研究成果の利用に対する責任感です。新たな知識をベースにした発明やイノベーションを手助けすること、あるいは、実用化された知識を、どうすれば人類だけでなく、すべての生物種、自然環境の利益になるよう使えるのか率先して考えることが、現代の科学者には求められているのです。

私は総合知の科学が未来の科学者や技術者を導く指針となれればと考えています。言い換えるなら、彼らが本田財団の提唱したエコテクノロジーを行動指針とし、この地球上の問題に立ち向かってくれることを願っています。



スロヴェニア、第20回本田賞受賞

アレクサンドラ・コルンハウザー

A. Kornhauser

Innovation

人類と機械の共生

新素材が支える技術革新

情報化技術の特異性

人間尊重を源泉に

20世紀における技術革新は、「使う側の人間が技術の進歩に追いつけない」という矛盾した状況を生み出し、1990年代のインターネット普及による「情報化」の技術革新は、経済や国家の関係性、個人の日常生活まで一変させた。さらに、新素材の開発ラッシュやナノテクノロジーの進展など、21世紀の技術革新は速度も頻度も人類の未体験ゾーンへと突入した。技術革新が社会の発展すべき方向から個人の価値観にまで迅速かつ多大な影響を及ぼし始めた現在、これから求められる技術開発の“あるべき姿”を探る。

人類と機械の共生

これまで人類が幾度か体験してきた「技術革新」は、人々を過酷な労働から解放し、生産性や経済性を飛躍的に伸ばしました。一方、一部の例外を除き、第二次大戦以前の「科学」と「技術」は独自の道を歩んできました。そんな科学と技術が密接に関係した20世紀半ばの技術革新は、それまでと比べものにならないほど多大な恩恵をもたらしました。

その反面、人々は考えもしなかった課題をつきつけられました。それは「人間が機械(道具)を使う」という常識とも思える「人間と機械の関係性」の破綻でした。その最たる例が「マン・マシン・システム」です。

マン・マシン・システムは、第二次世界大戦中、情報工学、工学の分野で提唱され、実用化されました。これは一言でいえば、人間と機械の混合系。例えば、「敵機を捉えるレーダーは機械、その情報を読み取るのは人間、高射砲は機械、弾道をプログラムするのは人間」というようにインプットからアウトプットまでの間に、人間(マン)と機械(マシン)が混在しているシステムです。人間と機械をほぼ同等の存在と考えてシステムに組み込み、作業効率や正確性を格段に高めるのです。極言すれば「人間もシステムの一部として“技術”に使われる」という関係性が生まれたわけです。機械の能力は故障

でもない限り一定です。しかし、人間の能力(性能)は必ずしも一定ではありません。ある人間が機械を操作するのに1秒かかるとき、別の人間は3秒を要してしまうとします。そうすると、人間の能力が異なり、役割を調和した形で機械を制御することが困難となりかねません。

そこで、「マン・マシン・システム」を成立させるために採用された重要な概念が「フル・プルーフ」です。「人間の能力(性能)に差があるのなら、システムに配置される人間の能力を平均以下に設定したうえで、全体としては最上の効率が発揮できるシステムを構築する」という設計思想です。この概念の導入により、「人間が機械に合わせるのではなく、人間に機械を合わせる」という方向性が示唆されたのです。

ところが、「マン・マシン・システム」～「フル・プルーフ」の概念は、戦時下という特殊な状況が終わり、一般の産業に取り込まれると、新たな問題を生じさせました。

戦後、世界中の工場で積極的に取り入れられた技術革新の1つである「オートメーションシステム」がその代表例です。オートメーションシステムは、生産性を飛躍的に向上させると同時に、“人間の歯車化”という問題を生みしました。歯車化は、人間の尊厳を損なうだけでなく、生産性すら下げてしまう二重の弊害を起こし

1936年に封切られた1本のアメリカ映画が、驚異的な経済発展を続ける先進諸国の労働階級に生まれつつある“歪み”を活写し、行きすぎた資本主義に対して警鐘を鳴らした。チャールズ・チャップリン(1889-1977)が製作・監督・脚本・主演を務めた『モダン・タイムス』である。なかでも、工場で働く主人公が延々と続く単純作業に発狂し、巨大な歯車に巻き込まれるシーンは、動きの滑稽さで笑いを誘うと同時に“労働者の歯車化”という人間疎外を見事に表現し、映画史に残る名シーンとなった。第二次世界大戦以降もたらされた技術革新により「人間が機械を使うのではなく、人間が機械に使われる」という状況はさらに深刻化。チャップリンが『警鐘』のために誇張して描いたはずの「歯車化する人間」の姿は、皮肉にも、十数年後の現実を描いた「予知」となってしまった。



ました。その改善策として、1970年代、新たな概念が技術革新を起こしました。「技術の人間化」とも呼ぶべき「ヒューマン・エンジニアリング」です。

例えば、工場の製造ラインにおいて、人間がよりよく効率的に安全に、障害なく働くために、人間と機械（や工業用ロボット）の作業の動作線の整備をどうすべきか、どんな機械やロボットを置くべきかと、積極的に検討、考察されました。人間が機械の置き換えとして機能するのではなく、機械が人間の能力を補い、機能を拡張すること、「ヒューマン・インターフェイス」を大切にすること。いわば、人間と機械の親和性・協調性が重要視されたのです。

今日、マン・マシン・システムを根底に派生した人間と機械の関係性は、人間が機械に合わせるのではなく、人間を中心に戻すということが、大きな潮流になっています。

最先端の科学技術を駆使することで、誰もが使いこなせて、しかも、使う人間の充実感や達成感までをも機械やシステムに組み入れていく。それが、ヒューマン・エンジニアリングの考える〈技術〉の正しい在り方でした。そして、このヒューマン・エンジニアリングの〈技術〉に対する設計思想こそ、エコテクノロジーの核となる概念でもあったのです。

人間のために役立つ機械を生み出すべきである

2003年本田賞受賞

森 健一

Dr. Ken-ichi Mori



1938年東京都生まれ。東京大学工学部卒業後、東京芝浦電気株式会社（現・株式会社東芝）総合研究所勤務。1970年「自由手書き郵便番号自動読み取り区分機」開発、1978年日本語ワードプロセッサ開発などの業績により、特許庁長官賞、大河内記念技術賞、科学技術庁長官賞など多数受賞。2003年より東芝テック株式会社相談役を務めるほか、東京理科大学大学院教授、科学技術振興機構研究主監を兼任。



中国語ピンイン漢字入力画面



日本初のワードプロセッサ（1978年、東芝）

西欧文化圏のアルファベットとは異なり、日本語で文章を著すとき、かな、片仮名、漢字と複数の表記を用います。日常生活で使う文字種に限っても3000字種以上が必要とされるため、誰もが簡単に使える日本語入力装置は不可能とされていました。しかし、森健一は日本語入力装置の潜在需要を、新聞社や雑誌社、官公庁にリサーチし、ワードプロセッサに対して、①誰でも手書きより早く入力できる。②ポータブル。③どこからでもアクセス、検索できる。という3つのコンセプトを設定、1971年から研究に着手します。日本語に多く見られる同音異義語の問題を処理する技術、単語間の共起関係辞書の開発などを進め、1978年、日本初のワードプロセッサが完成しました。

これは3つのコンセプトのうち、①が実現しただけでしたが、記録媒体の進歩、液晶ディスプレイの開発などが後押しとなり、1985年には小型の家庭用普及機の完成で②も現実のものに。現在、インターネットが③を可能にしたことを考えると、40年近く前に立てられた3つのコンセプトがすべて達成されたことになります。それだけ、森氏の製品イメージが明確に練られたものであったことがうかがえます。

日本語ワードプロセッサの実現は、他言語のワードプロセッサへも大きな影響をもたらしました。アルファベット以外の文字をコンピュータ処理する直接の動機につながり、アジア諸国の多くの言語に応用されることで、自国語のワードプロセッサ開発のモデルにもなりました。

ワードプロセッサ開発以前、森氏は「パターン認識」の研究に取り組んでいました。その成果は、世界初の手書きの郵便番号を読み取る装置の研究や、頻出文字を学習するワードプロセッサの機能に応用されています。これは彼が常に念頭に置いている「機械のために人間が働くのではなく、人間のために役立つ機械を生む」という考えの表明でもあります。

新素材が支える技術革新

科学と技術が密接に関係し始めたことで、全く新しい研究開発の道が開け、急速な進歩を遂げた分野がありました。第二次世界大戦以降の機械やシステム構築面で、技術革新の下支えとなった「素材開発」の分野です。

とりわけ1970年代から現代までの技術の世界を急発展させたシリコン半導体は、コンピュータの高速高性能化、小型軽量化、低価格量産化を一気に進め、オフィス機器から家電製品に至るまで、あらゆる電子機器を進化させ、私たちの生活を一変させました。さらに、超伝導体、先端合金、セラミックスなど、開発された新素材の数々は、科学技術を高度化させ、これまでとは桁違いの技術革新を急速に推し進めてきたのです。

なかでも特筆すべきは、20世紀の最大の技術革新の1つである「ナノテクノロジー」によって生み出された新素材でしょう。ナノテクノロジーは様々な科学技術の中で「ナノ」というスケール・キーワードに適合する技術を総称する概念です。よって、技術の範疇は、医療、バイオ、純粋工学、電気など、あらゆる分野を横断しています。

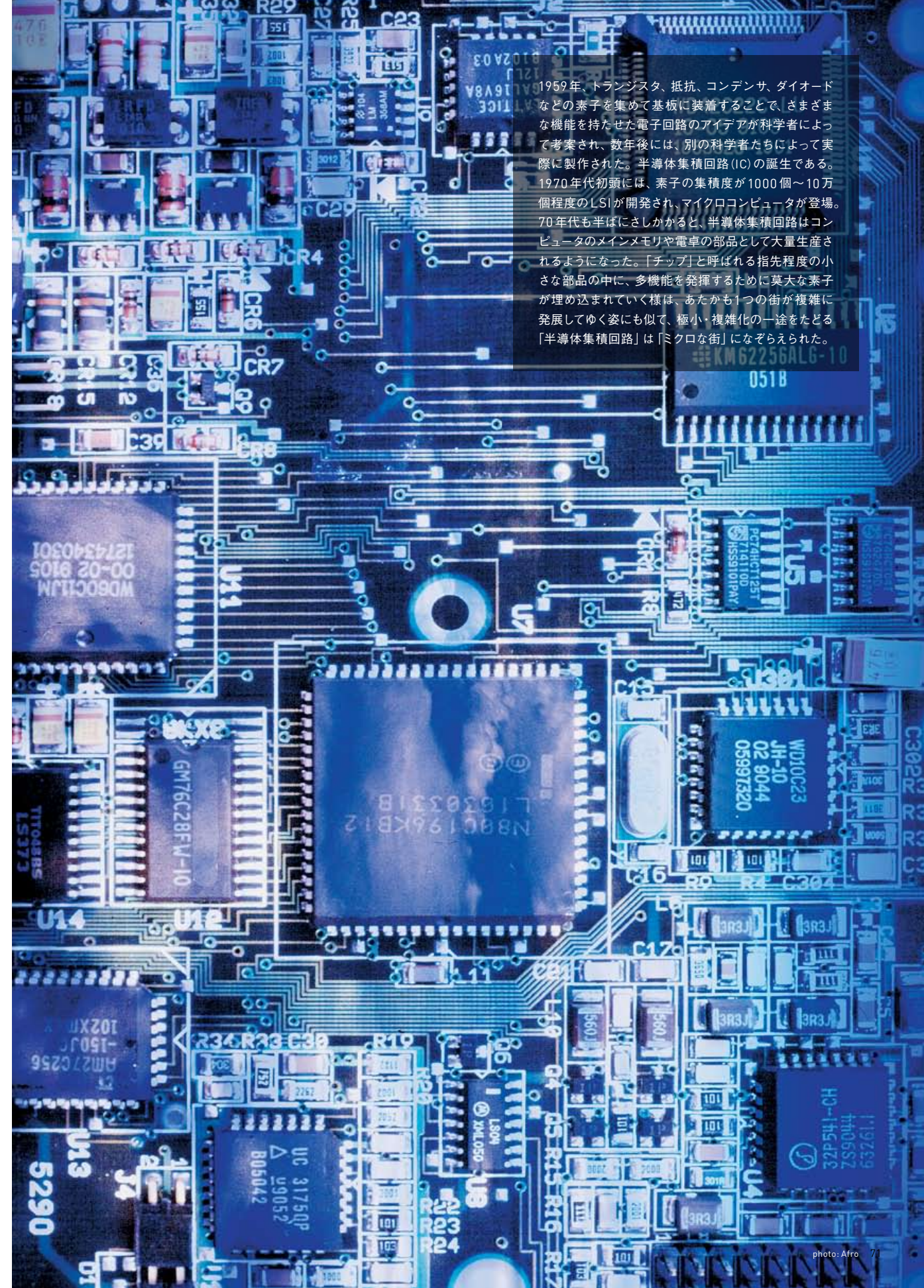
ナノテクノロジーでは、成果となる新素材が生み出される背景や経緯もユニークです。例えば「フラレン」は、新素材の研究から発見

されたのではなく、宇宙空間にある星間分子と同じ炭素分子を生成する目的で研究され、偶然発見されたものでした。しかも、この新素材が応用されたのは、宇宙とは無関係の医療(医薬品)の世界でした。最近では、フラレンがプロテアーゼに入り込むことでエイズウィルスの増殖を抑える可能性が期待されています。フラレンの合成中に偶然得られた「カーボンナノチューブ」も、フラットパネル・ディスプレイをはじめ、超微細半導体や燃料電池、走査型トンネル顕微鏡など、その利用分野は多岐にわたっています。

ナノテクノロジーで生み出された新素材は、研究分野の枠を超えて活躍することで、技術革新のスピードを格段に加速させました。

ただ、今後のナノテクノロジーのさらなる発展には課題があります。ナノテクノロジーの研究開発では、それに携わる科学者や技術者に対して、専門分野を超えた知識の収集と理解、あるいは専門外の技術の習得が求められる場合も少なくありません。さらに、応用範囲が広すぎるため、自分たちのつくり出した新素材や新技術が、専門領域以外でどのように活用できるのか、その可能性が開発者当人に見えづらいという難点もあります。

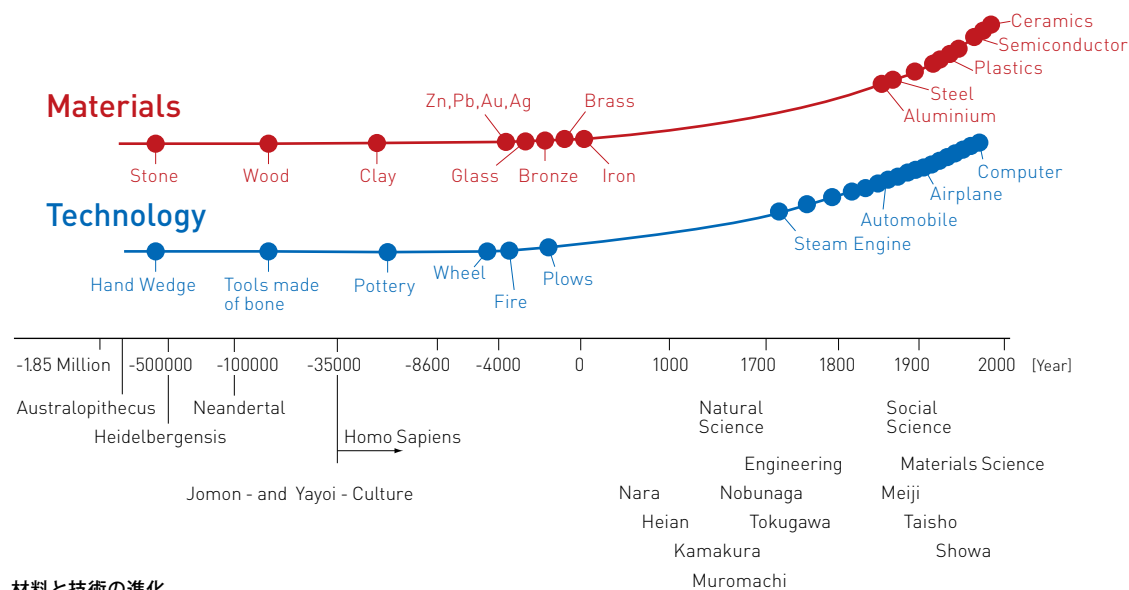
そこで、ナノテクノロジーに直接関わる研究



1959年、トランジスタ、抵抗、コンデンサ、ダイオードなどの素子を集めて基板上に装着することで、さまざまな機能を持たせた電子回路のアイデアが科学者によって考案され、数年後には、別の科学者たちによって実際に製作された。半導体集積回路(IC)の誕生である。1970年代初頭には、素子の集積度が1000個~10万個程度のLSIが開発され、マイクロコンピュータが登場。70年代も半ばにさしかかると、半導体集積回路はコンピュータのメインメモリや電卓の部品として大量生産されるようになった。「チップ」と呼ばれる指先程度の小さな部品の中に、多機能を発揮するために莫大な素子が埋め込まれていく様は、あたかも1つの街が複雑に発展してゆく姿にも似て、極小・複雑化の一途をたどる「半導体集積回路」は「ミクロな街」になぞらえられた。

者のみならず、その成果の応用範囲に入るあらゆる分野の科学者や技術者の間で、情報の共有を志向する声があがり始めました。

ナノテクノロジーはもとより、科学、技術を取りまとめるシステムができれば、これまで狭い領域で自己完結してきた科学技術が、総合的な視点で知見を重ねることができるようになります。技術者にとっては、自らの研究が全く異なる分野で大きな技術革新を引き起こす可能性の拓けた時代になるのです。



材料と技術の進化

曲線の上昇は発見と技術的な出来事の数増加を示す。1900年代に入り、プラスチック、半導体や超伝導体、先端合金やセラミックスなどが次々と出現。それらが技術開発を促進させ、材料の発見と技術の進化はほぼ比例して上昇している。(1997年本田賞受賞基調講演「人類に役立つ新材料」より)

Innovation 新素材を支える技術革新

材料学は、技術の進歩発展を 正しく間違いのない方向に導くことができる

1997年本田賞受賞

ギュンター・E・ペツォー

Dr. Günter E. Petzow



1926年ドイツ、ノルトハウゼン生まれ。1959年シュツットガルト大学理学博士。1974年同大学名誉教授。ドイツを代表する学術研究機関マックス・プランク金属研究所の粉末冶金研究室長、同研究所先端セラミックス研究室長、所長を経て1994年名誉所長に。主な研究分野は金属物性学、粉末冶金、特殊セラミックに関わる諸問題、合金とセラミックスにおける相図に関する研究など。米国国債メタログラフイー学会ヘンリー・クリフトン・ソルベイ賞等、多数受賞。



軽く、高強度を持つセラミックス材料。なかでもペツォー氏が実用化したファインセラミックスは人体との親和性が高く、医療現場でも生体の修復に役立つものとして、人工関節など多岐に亘って利用されている。

ギュンター・E・ペツォーは、マックスプランク金属研究所（ドイツの70あまりの研究所を有するマックスプランク協会傘下の研究機関の1つ）において、粉末冶金の研究により高温用タービブレード、人工関節などファインセラミックスを実用化するなど、材料工学の分野で秀でた業績を残しました。ペツォーの重要な論文もしくは著作の題材としては、金属間化合物（合金）の平衡相に始まり、包晶反応における知識、サーメツの構造と特性、金相学、高温材料、ベリリウムおよびその化合物、液相焼結、粒子の再配列、金属エッチング、セラミックスの剛性、Sialon（サイアロン）セラミックス、Si3N4焼結によるセラミックス、金属セラミックス界面、先進セラミックスのプロセス研究と広範にわたっています。その著作数は共著を含めた研究論文が600以上、書物は10冊以上にのぼり、これまでの研究において27の特許を取得しています。

ペツォーは自身の専門分野でもある「材料」について、地球の人口増加に伴う材料の需要の増大が、地球の新しく補充できない資源の「略奪」を意味する、経済システムとしての「宇宙船」地球は深刻な問題に直面している、と警鐘を促しています。そのためには、3つの方策—材料の再利用、最適化、新材料—が重要と提案しています。これは、単にエコロジー的な側面だけでなく、これまで適当な材料がなかったために不可能であった新しい技術を可能にするという面も併せ持つのです。

私たち人類は誕生以来、狩猟・採集の時代、さらには産業革命を経て、現代は第三の革新、すなわち生態環境面を更新していく出発点にあります。ペツォーはこの生態環境問題の解決策を、広範に分布した技術と材料の開発以外にはない、と明言しています。材料学の進歩で技術の発展を正しい方向へ向け、それにより資源の使用効率を改善させ、環境保護の改善に導く。それこそが材料学に努めてきた彼のエコテクノロジー的主張なのです。

技術革新は地球環境を救うために

2000 年本田賞受賞

中村 修二

Dr. Shuji Nakamura



1954 年愛媛県生まれ。徳島大学工学部大学院で修士。日亜化学工業株式会社に在籍時に、実用的な青色発光 LED を開発。消費電力が少なく寿命が永久的な LED の用途を飛躍的に拡大する。1994 年徳島大学で博士号を取得。2000 年より、米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校材料物性学部教授に就任。2002 年信州大学、2006 年愛媛大学の客員教授。青色 LED などの発明によりフィンランド政府からミレニアム技術賞受賞ほか、多数受賞。



青色発光 LED (日亜化学)

発光ダイオード (LED) は省電力、長寿命 (半永久) で発光する半導体素子です。その開発は 1960 年代のことでしたが、近年、蛍光灯や電球に置き換わる光源として期待され、交通信号を始め携帯電話のバックライトや大型のディスプレイ、DVD レコーダーなどにも利用。私たちの生活の中で急速に普及してきました。このイノベーションの背景には 1993 年、青色 LED の実用化という事実があり、これを開発したのが中村修二です。この発明以前、1980 年代中頃まで、「光の 3 原色」である赤、緑、青のうち実用化レベルでの LED で再現できたのは赤色のみ。また、緑色に代わるものとして黄緑色があるだけでした。

中村氏がまだ会社員だったころ、大手半導体企業でも大学でも完成できなかった青色 LED 開発への取り組みを社長に直訴、開発費の使用とフロリダ大学 (米国) への留学許可を得ました。LED の青色発光の研究にはセレン化亜鉛、窒化ガリウムが利用されており、前者は綺麗な結晶ができることから研究者が圧倒的に多いという現状でした。そこで彼は皆がやっているならと、当時としては非常識な後者を選択。窒化ガリウムを清澄するための反応装置ツーフロー MOCVD を独自に開発します。その結果、環境に優しい窒化ガリウムで青色 LED が、さらには同じ材料で緑色 LED の完成に至り、LED による「光の 3 原色」再現が可能となったのです。

1 つのブレイクスルーが生まれたことを契機に、従来の半導体レーザー (赤色) を、窒化物を使って波長の短い紫色にすることにも、中村氏は成功します。この利用により大容量、高解像度の DVD が可能となりました。また、2005 年には東京理科大学の研究グループとの共同研究で、窒化ガリウムと光を使って水から水素と酸素を分離する技術の開発に成功。新たなイノベーションへつながるものとし、今後の応用、実用化が期待されています。

情報化技術の特異性

1950 年代、自然科学の世界では「物質」「エネルギー」に続く第 3 の基本概念として「情報 (information)」が登場しました。その概念を基礎に、1970 年代、シリコン半導体の発見を発端とするコンピュータの急速な進化と相まって「情報化の技術革新 (IT Innovation)」を起こしたのです。

その代表が「産業革命以来の技術革命」と評される「インターネット」の誕生でした。

インターネットは 1969 年の米国の国防用コンピュータネットワーク「ARPANET」に端を発します。1986 年、ARPANET から分割される形で、学術研究用の NSFNet がつくられ、各大学の大型コンピュータが結ばれてゆくことで世界に広がり始めました。これにより、念願だった「科学者や技術者の間での情報共有」が実現し、専門分野に自己閉塞していた科学技術が、総合的な視点から知見を重ねられるようになったのです。

さらに、1995 年、NSFNet の民間への移管、Windows 95 の登場により、インターネットは一般ユーザーへと一気に広がりました。インターネットは、あらゆる制約を飛び越え、電子化された情報に対して、地球規模の双方向性と共有性、即時性を持たせたのです。

経済面では、買い物から株取引まで、新たな

ビジネスモデルを次々に生み出すと同時に、旧来の経済圏の壁を取り払い、時差も超える「グローバル経済化」を進展させました。生活面でも、あらゆる日常活動の利便性が向上しただけでなく、ブログや SNS などの新たなコミュニケーションツールが登場し、従来にない自己表現の場も獲得できました。

インターネットを代表とする情報化の技術革新は、これまでの技術革新とは性格が異なり、個人の価値観、ライフスタイル、経済や国家の関係性まで一変させたのです。

高度情報化は、社会に多くのメリットをもたらす一方、これまでになかった弊害をもたらし始めました。近年、精神面の病を患う情報技術関連の技術者が増えているのもその一例でしょう。

例えば、自動車の技術者であれば、自分のしていることがはっきりと目に見え、最後には形になることがわかり、自分がラインに参加している実感が得られます。しかし、情報技術関連の技術者の場合、成果物には触れられません。物理的な完成形を持たないので、作業終了を明確に設定できず、達成感を得るのも困難です。その結果、精神的にうまく働けなくなるという問題が生じているのです。

このような事態は、より根本的な形で、私

たちの生活空間の中に広がっています。一言
でいえば、「技術は見えなくなっている」のです。
これまで、技術といえば「見えるもの」でした。
しかし、先に触れた新素材、ナノテクノロジー、
あるいは機械がコンピュータ制御になるなど、
生活者のレベルからは「見えない・見えにくい」
ものになってきつつあります。

現代において、科学技術は我々の生活空間
に当たり前のように存在し、知らず知らずのう
ちにそれに支配されています。そして、「見え
ない」ほどにすっかり空間の要素となってしま
った技術によって、強いストレスを感じる一方、
望んでもいない技術の所産をひたすら受け入
れ、変わっていくという状況にあるのです。



何もない地に1件の家が建つ。やがて家屋が増えるにつれ、
それらを結ぶ道がつくられる。さらに街が活気づき、家屋や
集合住宅、商業目的のビルなどが密集し始めると、道はそ
れらの間を縫うようにして、複雑に張り巡らされてゆく。遠
く離れた街と街もまた道によって結ばれてゆく。それらの道
を通して、人やクルマが行き交う。やがて、電話が発明され、
電話線が張り巡らされると、「声」だけで相手とつながる新た
なコミュニケーションが生まれる。そして、世界中に
張り巡らされ始めた光ケーブルは、テキストや静止画はもち
ろん、音声や動画も含めて大量のデジタル情報のやりとりを
実現しつつある。人や人の声とは比べものにならない電子情
報が飛び交う現代の成熟した高度情報化社会においては、
現実の社会構造そのものが「ネットワークで結ばれた半導
体集積回路」の巨大なひな形と言えるのかもしれない。

高度科学技術は、世界人類に益するという観念から、 省資源と省エネルギーに貢献することこそ、 その眼目である

1986年本田賞受賞

西澤 潤一

Dr. Jun-ichi Nishizawa

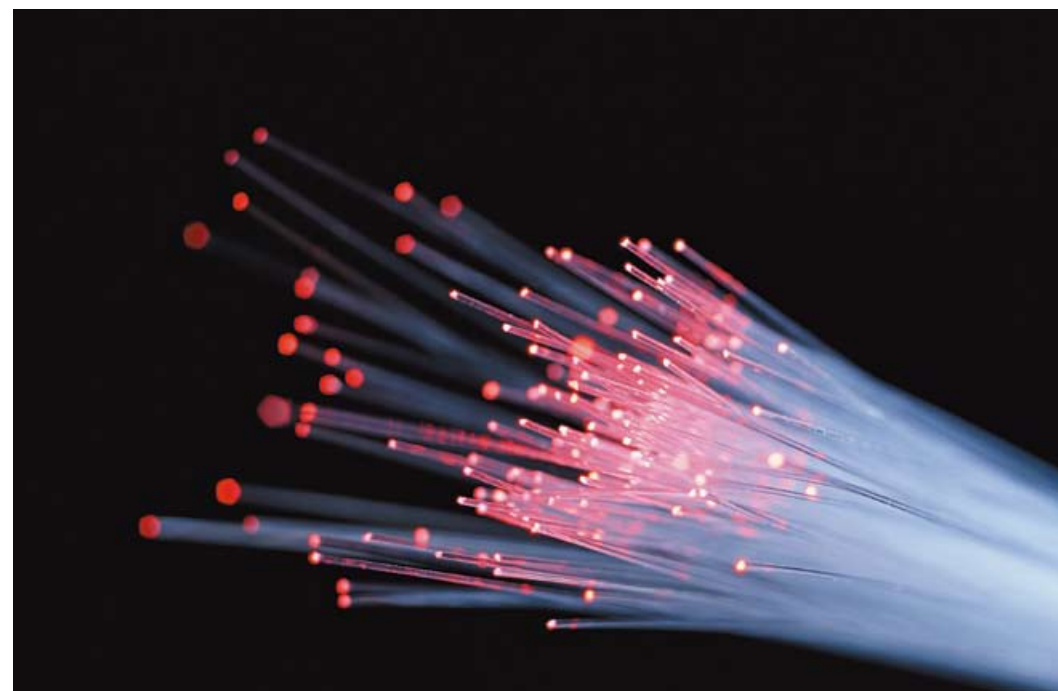


1926年宮城県生まれ。1948年東北大学工学部卒業。東北大学教授、東北大学総長等を歴任。2005年から首都大学東京学長。Pinダイオード、静電誘導型トランジスタ、静電誘導サイリスタなどを発明したほか、光通信技術の応用発展に寄与し、多方面に影響を与える。また、2000年には、テラヘルツ波によるガン診断、ガン治療の提案を行う。文化勲章、米国電子・電気学会 エジソンメダル、勲一等瑞宝章受章等、多数受賞。

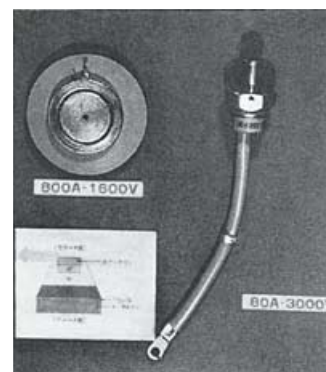
今日の情報化社会、その根底を支える重要な発明に、大容量通信を可能にした光通信の技術が挙げられます。光通信には、3つの大きな要素があります。1つはフォトダイオード (Pin ダイオード) という光を電流に変換する光センサ、1つは電気信号を光に変換する半導体レーザー (発光素子)、そして光を使って情報を伝達する光ファイバーです。

これら3大要素を発明し、現在の光通信の概念の大枠を完成させ応用発展に尽力した人物が、西澤潤一です。「ミスター半導体」「光通信の父」とも形容され、半導体を始めとする様々な分野で独創的な研究を行い、その業績が現在に至るまで各方面に多大な影響を与えているイノベーターです。

私たちが生活する上で、もはやなくてはならない通信手段、光通信。この偉大な技術の開発を、西澤氏はいかにして成しえたのでしょうか。そもそものは西澤氏が工学博士の八木秀次氏 (八木・宇田アンテナの発明者) から「人類に広く通信手段を与えるために高い周波数を開拓して光に至れ」と指導されていましたことに端を発します。ちょうど西澤氏は、自身最初の研究であり業績でもあるPinダイオードが光検波に使える (受信源になる) と、開発した1950年代初頭から着想していたことから、光通信の取り組みが始まります。次に送信源の研究に着手。当時、ルビーを使ってマイクロ波を増幅する実験が行われており、その現象から、増幅しつばなしにできないかどうか発案。外部共振型の半導体につなげれば、連続的に光も増幅発振できるのではと考え、半導体レーザーについての論文を1957年に発表します。最後に伝送路となる光ファイバーの研究を開始。今のように空間に光を飛ばしたり、電線を通すことはできません。そこで当時の研究者たちは銅の筒を作り、光を通していました。しかしそれでは、筒内の凹凸が0.1ミクロンでもあると、1ミクロン以下の光の波長が跳ね返り、通すことは至難の業でした。また、銅の筒では工業化にも適しません。そこでかつて見たガラス細工の技術が筒に使えると思い至り、ガラスファイバーを利用することになります。2つの異なる材料の屈折率の違いを利用した光ファイバーの構造を考案したのです。これにより、中心の屈折率を極大にすれば光が外に逃げ



今日の通信手段に欠かせないインフラとなっている光通信の基礎は、西澤氏の最初の研究である「Pinダイオード」(写真下)を受信機として利用するアイデアに端を発する。その後、送信機、そして伝送路となる「光ファイバーケーブル」(写真上)が完成したことで、光通信は現実のものとなった。



なくなるのです。1970年には偏光型ファイバーを発表。一人の発明と努力により、光通信の基礎が築かれたのです。

現代の技術研究の世界では、細かい専門性に特化しその領域を深く掘り下げていくというスタイルの研究者が一般的です。ところが西澤氏の業績は学術研究だけでなく、先に挙げた半導体レーザー、光ファイバーの開発にとどまらず、不飽和性を示す特徴を持つ静電誘導トランジスタ (従来のものは電流電圧特性が飽和特性を有する)、半導体材料の完全結晶化技術など多岐にわたっています。

西澤氏はそれがどのように実用化され、どうすれば人のために役立てるのか、という社会に対しての使命感を持って研究に従事してきました。その背景には、資源の少ない日本人だからこそ、その営みを続けられるように、人類のために役立たねばならないという考えがあります。この考えを実践するように、西澤氏は直流から交流への変換効率が99%という半導体デバイスを開発。この発明をもって、1986年以前から世界の電力需要は水力発電と直流送電で賄えるとの提言を行ってきました。通常「交流」で送られている電気を「直流」送電にすると、現在の太さの電線を使用しても約1万キロの長距離送電が可能になります。エネルギー問題が世界的な課題となっている現在、再生可能なエネルギーである水力発電で世界の電力が十分に賄えるという、エコテクノロジーの大きな提唱です。

現実のあいまいな問題を避けず、 立ち向かうことが人間性あふれる技術を生み出す

1989 年本田賞受賞

ロトフィ・アスカー・ザデー

Dr. Lotfi Asker Zadeh



1921年アゼルバイジャン、バクー生まれ。テヘラン大学、マサチューセッツ工科大学で電子工学を学び、1949年コロンビア大学で博士号を取得。59年より92年までカリフォルニア大学バークレー校教授。離散信号の分析に対し、有用なZ変換の研究に寄与。60年代に「ファジー理論」を提唱。これまでの定性的な言葉を定量的に表現することが可能となり、多分野への応用を通じ、情報化社会をより人間性あふれるものへと先導した。



ファジー制御システムを導入した日本の仙台市地下鉄南北線の車両。従来の自動運転システムに比べ、人間のオペレーターが運行しているようなスムーズで無駄のない、発進、停止を可能にし、消費電力も数%削減できるようになった。(提供：仙台市交通局)

私たちの日常会話には、曖昧な言葉が多く含まれています。曖昧さと経験や勘を駆使して私たちは機械を微調整したり文章の要点をまとめたりすることができます。この「人間らしい」情報処理を機械やコンピュータに応用する足がかりとなる「ファジー理論」を1965年に提唱したのが、ロトフィ・アスカー・ザデーです。従来の理論体系では0か1と割り切って表していたことに対し、ファジー理論では0～1の範囲内で段階的な帰属度 (membership) を与えました。つまり、数式では表せないような「本質的に曖昧な人間の常識思考に近い」思考様式のモデルなのです。

その特徴は、①「真実である」「ある程度真実である」と、真理値を曖昧に集合。②「ほとんど」「少し」「たいてい」など量記号を曖昧数と解釈し、曖昧集合の絶対的、相対的な記述に役立てられる。③「あり得る」「絶対にあり得ない」など、曖昧な確率と曖昧な量記号の関係性を利用し、曖昧な理論の功利性 (utility) を算出。④従来の自然言語では処理できなかった「とても」「ある程度は」いったヘッジが果たす役割を、曖昧な述語の上に機能する演算子として処理が可能。

このようにファジー理論の体系は、伝統的理論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。そして従来の論理的手法、古典的な確率論的手法では不可能だった数多くの分野に応用することができるのです。その応用は、電車の発進・停車の自動制御や土地管理システム、トンネル掘削機、クレーン、焼却プラント、半導体製造装置まで様々で、産業界をはじめ多くの分野にわたって成功を収めています。ファジー理論は発表当初、一部の科学者から絶賛を浴びたものの、数量的かつ正確なものを導ぶ科学の世界では懐疑的な反応がほとんどでした。それから40年以上が経過した現在も議論に上がることはありますが、そのイノベーションの実績が人々の生活になくてはならない重要な役割を果たしたことは、疑いようのない事実なのです。

人間尊重を源泉に

なぜ、人間を幸福にするための科学技術が、現代社会に弊害をもたらしたのでしょうか。その理由は、一概には特定できないものですが、大きな流れとして捉えたとき、現代科学技術の進化のあまりの速さに〈使う側〉の人間・社会がついていけなくなり、制御できなくなり始めたからだと考えられます。

この問題を解決するため、私たちはどのように取り組めばよいのか——そのヒントは以前の技術革新に対する人類の取り組みの歴史にあります。

科学技術の進化の急激さに翻弄された人間は、いつの間にか「人間が科学技術に合わせる」という誤った関係性に陥り、混乱し、疎外され、孤立化してしまいました。そんな現代社会に必要なのは、先走る科学技術に何とか追いつくとするのはやめて、ヒューマン・エンジニアリングの観点から、科学技術の方を使う側の人間に合わせるよう再構築することでしょう。

そのとき、社会システムそのものが、日々刻々と進む技術革新に対して、どういうふうにより自己改革できるかというのが、むしろ社会の側の問題として表出してきます。科学技術と社会の間で、科学技術の方が無理矢理に社会を変えると、その一員である人間の側には歪みも出てき

ます。そういう歪みが生まれないように、科学や技術だけでなく、社会構造自体を〈システム〉という技術的側面から捉え、革新していかなければならないのです。その際に、何より肝要なのは「決して、人間に無理を強いるような形で変わるべきではない」という“人間尊重”の視点なのです。

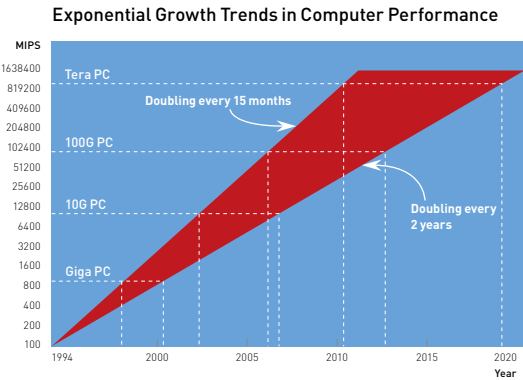
当然、この視点を最初に持つべき人たちとは、社会システムの革新に直接関与する施策者、為政者であり、その最も有力なアドバイザーとなりうる科学者、技術者の代表者たちでしょう。しかし、そのような一部のリーダーたちが考え方を变えるだけでは、真の意味での〈社会システムの革新〉を実現することはできません。社会の側がどうやって適応していくか、その問題を社会の一員である生活者一人ひとりが意識するべきなのです。

今日の生活空間のなかでは、素材しかり、情報化しかり、「目に見えるもの、手で触れられるもの」から、「見えないもの、触れることができないもの」に移り変わってきています。そうした状況の中では、何より、現場で技術革新に携わるすべての科学者や技術者の役割はより重要となります。

現代社会の中核をなす〈科学技術〉が簡単には見えなくなっている現在だからこそ、これが

らの科学技術者は、今後起こる急速な技術革新の数々を常にヒューマン・エンジニアリングの思想と照らし合わせ、評価し、調整し、さらに革新していかなければなりません。

別の見方をすれば、これからの時代、社会と人間のあり方なども含めて、科学者や技術者にとっての〈夢〉の地平が無限に広がっていることの証しでもあるのです。



情報処理能力の普及予測

ロボット工学と知能システムが急激に進歩した背景には、情報技術の飛躍的な普及発展がある。2000年には毎秒10億単位の演算命令をこなし、数十億ビットのメモリと毎秒10億ビットのデータ伝送機能を搭載した「ギガPC」が発売された。企業カルテルや想定外の技術障害が行く手を阻まぬ限り、2015年には「テラPC」が2030年には「ペタPC」が登場すると予想される。問題は、このように累乗的なペースで進化する情報マシンを、私たち人間が何に使うのかー、そのような劇的進展は私たちの暮らしや仕事にどんな影響を及ぼすのかーという点にある。(2005年本田賞記念講演「社会的要請にこたえるロボット工学と知能システム」より)



2003年4月生まれの人型知能ロボット「アトム」が初めて読者の前に登場したのは1951年。その後、『鉄腕アトム』は子どもたちの間で大人気となり、1963年からは日本初のテレビアニメ化、後には世界各国で放映された。科学の進歩がもたらす輝かしい未来像の代表として世界的なヒーローとなったアトムだが、生みの親である手塚治虫は次のように語っている。〈「アトム」は…自然や人間性を置き忘れて、ひたすら進歩のみを目指して突っ走る科学技術が、どんなに深い亀裂や歪みを社会にもたらし、差別を生み、人間や生命あるものを無残に傷つけていくかをも描いたつもりです。ロボット工学やバイオテクノロジーなど先端の科学技術が暴走すれば、どんなことになるか、幸せのための技術が人類滅亡の引き金ともなりかねない、いや現になりつつあることをテーマにしているのです〉(『ガラスの地球を救え 二十一世紀の君たちへ』1996年刊)

先進技術の進歩を、格差を押し広げる方向に使うのか、 貧しい人、病に苦しむ人、無学な人を 助ける方向に使うかは私たち人間次第である

2005 年本田賞受賞

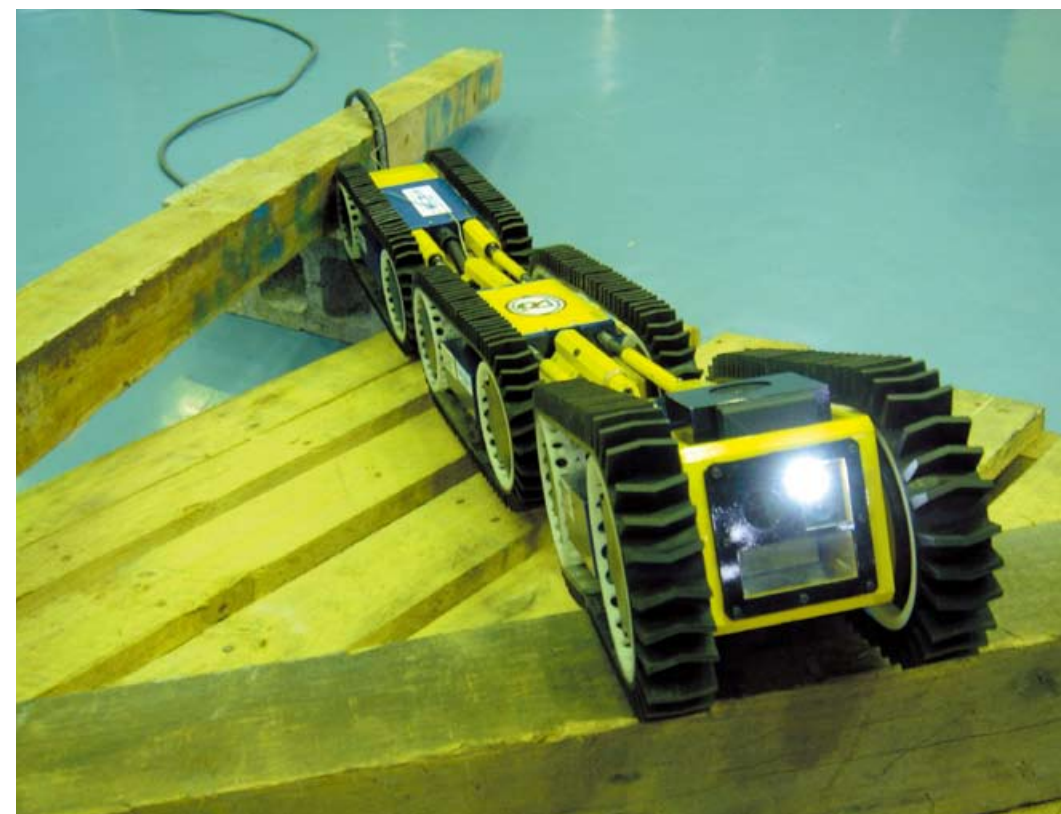
ラジ・レディ
Dr. Raj Reddy

1937年インド、アンドラ・プラデシュ州生まれ。58年マドラス大学（インド）卒業。カーネギーメロン大学（アメリカ）のコンピュータサイエンス部教授、ロボット工学研究所初代所長などを歴任。モザービントナッサーユニバーシティプロフェッサー。ロボット工学、知能システム、ヒューマンインターフェイスなどの研究を行い、その成果は教育、医療、福祉と広範な分野に貢献。仏レジオン・ドヌール勲位授与、印パドマブシャン（最高栄誉賞）など多数受賞。

コンピュータサイエンス、ロボット工学の分野において世界的な研究指導者であるラジ・レディは、先駆的な研究を進め、ヒューマン・インターフェイス、人工知能、発話・視覚などを中心に多大な成果をあげてきました。彼はまた、1979年、教授を務めるカーネギーメロン大学にロボット工学研究所を設立、初代所長に就任しました。世界各国の大学、企業から研究者を受け入れ、指導してきた結果、現在、ロボット工学研究所は二百数十名の研究者を擁する、世界屈指のロボット研究機関の1つとして知られています。

ロボット工学、知能システムはこの半世紀で大きな進歩を成し遂げてきました。この背景には、日進月歩の普及発展を遂げる情報技術があります。メガからギガ・コンピュータへ至る累乗的なペースによる進化が、テラ・コンピュータやペタ・コンピュータの登場、普及をもたらすのもはや時間の問題といえるかもしれません。かつてロボット工学や知能システムの主目的は特定の技術問題の解決が念頭に置かれていましたが、情報技術の飛躍はその形を変えました。レディが取り組んできたロボット工学分野は、世界中の多くの分野で応用研究がなされ、私たちの生活に多大な影響を与えうるシステム、ソリューションを生み出すものとなったのです。

では、レディが考えるロボット工学や知能システムにはどのようなものがあるのでしょうか。現在、開発研究が行われている代表的なものをご紹介します。①世界的な高齢化社会で活躍を期待される介護支援ロボット。②人間が立ち入れないような被災地で活動する、人間の視覚と行動範囲を拡大する救助ロボット。③読み書きできない人でも最新の音声認識・音声合成技術を駆使して支援する読書支援システム。④交通事故を防ぎ、燃費改善、運転者の疲労を軽減する、コンピュータの目を持つセンサ式インテリジェント走行制御技術自動車。⑤ボイスメールなどを利用した非識字者向けコンピュータ。⑥過去に出版されたあらゆる書籍を電子化して誰でも閲覧できるデジタル図書館。⑦都市と地方でのデジタル・デバイドを解消するための人工知能。例えば医療診断や治療の場で利用されるエキスパート・システムや知識ベ-



人間の能力、行動を補助するロボット、人工知能はすでに多くの分野で試作、実用化されている。上は日本の国際レスキューシステム研究機構のIRSI蒼龍。被災地で人間の立ち入れないエリアの探索、救助をサポートし、日本で2004年に発生した中越地震では現地調査に利用された。下は非識字者向けコンピュータ。字を読めない人でも、音声入力でメールなどの利用が可能となり、情報格差を埋める一助となる。（提供：広瀬茂男〔東京工業大学〕／NPO国際レスキューシステム研究機構）



ス・システム。この①～⑦のなかでも、デジタル図書館について、レディは「もっともよく利用されるエコテクノロジーになるのかもしれない」と述べています。実際、米中印の共同事業で2007年までに100万冊の電子化が完了する予定です。

これらの技術には、もちろん多くの課題があります。例えば普及させるためのコストの問題、言語による差をなくすための技術（同一言語でも、訛りや子どもの発音などにも対応させる必要がある）、誰にでも使いやすくするための簡素化されたインターフェイスの実現も必要です。しかし、現段階で実現が現実視されている技術が多いのも確かであり、決して夢のような話ではありません。

レディはロボット工学と知能システムが今後50年で劇的な変化を遂げることは疑いのないこととし、「エコテクノロジーを普及発展させ、『人間味あふれる2050年』になることを切に希望します」と、本田賞受賞講演の結びに述べました。彼の提唱するロボット工学と知能システムの目指すべき未来とは、国籍、言語、年齢・性別、経済格差を問わず誰もがその技術を楽しむことができるものにするという考えを根底に置いているのです。

進化の速度が違う国の間でも協力し合い、 お互いに発展し、皆が幸福に暮らしていける社会へ

2006 年本田賞受賞

リチャード・R・ネルソン
Dr. Richard R. Nelson

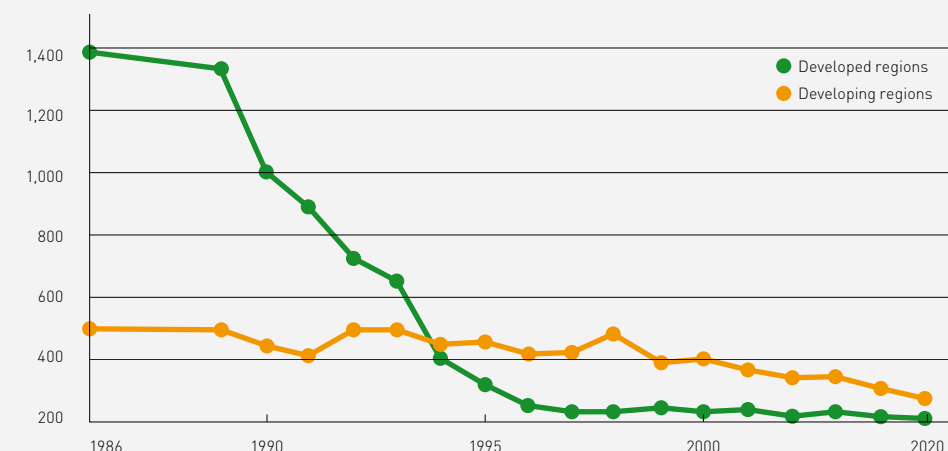


1930 年アメリカ、ニューヨーク州生まれ。1952 年オベリン大学卒業、1956 年イエール大学大学院にて博士号取得。1968 年イエール大学経済学部教授、1980 年イエール大学社会政策研究所所長、1986 年コロンビア大学教授を歴任し、2005 年よりコロンビア大学名誉教授。技術や社会制度におけるイノベーション研究で知られ、産業界、経済界をはじめとする様々な分野に多大な影響をもたらした。『経済変動の進化理論』(1982) など、著書・論文多数。

リチャード・R・ネルソンは、経済学の分野で他に先駆けて、科学技術の進歩や社会制度におけるイノベーションが、産業や経済の成長、衰退に与える影響を学術的に分析しました。その研究発想の原点は、国による成長度の違いがどこから生まれるのか、というものです。イエール大学院に進んだところから、ネルソンは次のような疑問を抱いていました。18 世紀末から 20 世紀中頃にかけて、地球上の多くの場所で非常に生産性が上がり、短期間に急成長を遂げ生活水準が向上した国々がある一方、近年ようやく急成長を始めた国、まだ成長できないでいる国があります。その違いはどこから生まれるのか。そこから経済成長のプロセスの研究に取り組むことになりました。一方、近代経済学の中では、技術のイノベーションについては全く研究されていないことにも気づきます。そこで技術のイノベーションについて研究するため、1 年間マサチューセッツ工科大学でエンジニアリングについて学び、技術への関心を高めました。その結果、「これまで 2 世紀近くにわたり、人類に生産性の向上をもたらす推進力となったのは、技術革新である」という結論に至ります。つまり、経済成長のプロセスを研究するには技術革新、技術の進歩のプロセスを無視することができない、というわけです。そして 1982 年、ネルソンの代表的な業績となる『経済変動の進化理論』が発表されました。

この論文が与えた影響は先進国のみならず、途上国の健全な発展や社会の変革に大きな影響をもたらしました。今や、イノベーションは多くの国家や企業が課題とする世界規模のトレンドとなっています。イノベーションという言葉がタイトルにある社会科学分野の学術論文数の変化がそれを示す顕著な例として挙げられるかもしれません。これはネルソンによる調査の結果、明らかになったことですが、1970 年代から 1995 年までは、それほど数に変化は見られませんでした。ところが、1995 年以降、その数は飛躍的に増加しているのです。その背景には、情報通信技術の急速な発達、そしてグローバル化という点が考えられます。世界規模での新たなビジネスモデルの確立、世界規模の産業競争が始まり、企業の研究開発だけでなく、環境、資源、エネルギーなど、

1989 年から 2005 年までのすべてのオゾン層破壊物質消費量
(オゾン層破壊物質 1,000t 単位)



初めてオゾン層破壊への脅威が認識されるようになって以来、オゾン層破壊物質 (ODS) の排出は 1989 年の 150 万 t から 2005 年の 8 万 9 千 t にまで劇的に削減されている。
(出典：国際連合)



識字率 41.5% (出典：ユネスコ統計 2004) と世界でも極めて低いパキスタンでは、その改善が大きな課題となっている。最大都市である州都カラチを要するシンド地方の学校では修道院のシスターが教えている。

地球規模での問題に対応するイノベーションが求められるようになったことが要因となっています。その一例として、オゾン層の問題が挙げられます。オゾン層に対するフロンガス規制の実行を可能にしたのは技術です。規制のムーブメントに対して多くの国々の政府が反対しました。もっともフロンガスの代替技術は以前から考案、発展があったので各国がフロンガス規制を政策として実施することができたのです。これは科学技術のイノベーションが地球環境、社会の健全発展に与えた影響を如実に語る出来事です。

ネルソンはこれからのグローバルな社会に対して、発展の速度が異なる国の間でも協力し、お互いに発展し、皆が幸福に暮らしていける社会をつくるため社会全体の知的水準をいかにして上げていくかが課題であると述べています。高水準の教育が行きわたることで、多数の理解のもとにイノベティブな政策を決定できるようになる、という理由です。この理想に対するエピソードとして、ネルソンはアメリカのバイ＝ドール法 (政府資金で行われた研究成果に対し、大学が特許を保有することを認める) に対し、公共性の高い研究成果を特定の利用者に独占させることは科学発展を脅かすことになりかねない、と警鐘を鳴らしていることを紹介します。

21世紀に向けて科学技術は、ますます重要になって来ていることは誤りのないことである。今の環境問題に見られるように、人間社会は予想していなかった危機に襲われている。産業革命に始まる資源消費は、知らぬ間に積み重なって恐るべき量に到達し、この結果が何時の間にか私達の子どもや孫達に恐るべき危害を与えるのではないかという心配を誘発させられることとなった。

今漸く科学者を先頭に対応の為の動きが始まっている。しかし、これはほんの一例にすぎない。次から次へと平和な人間社会を脅かす。戦争・殺人と云う前世紀からの引きずりばかりでなく、O157、SARS、炭疽菌と個人レベルにまで浸透した危険を我々は迎えつつある。

科学は実証が原則である。しかし、これからの思いも掛けぬ危機の襲来は予知されなければならないが、実証させてはならないのである。実証すなわち死を意味するからである。私達、科学者と技術者は、これ迄以上人間に負債を負わせることなく、科学技術を駆使して早く災害の禍根を消滅させるようにしなければならない。

これは正に21世紀の暗い一面である。これらに次々と科学者が防ぎの手を打ってゆかなければならない。熱い人間への愛に基づいた叡智の科学者が必要な時である。

自分の専門分野の中で、一切の不都合を発生させまいという責任感がなければ、次々と襲って来る危機危険を我々人類が切り抜けていくことは困難なのでないだろ

うか。

私自身、世界的課題となっている地球温暖化について、先人の学問をつないでいく努力をしてからもう20年以上の時間が流れた。恐る恐るキプロス島で開催されたOPEC総会で、石油の代替エネルギーとして水力発電所を直流送電で繋ぐという提案をした。当時は見向きもされなかったが、今では多くの人たちから褒められることになった。後は、本格的な普及への努力が残っている。また、^{トウモロコシ}玉蜀黍を発酵させて植物アルコールを作ったのでは、既に始まっているとも言える食糧不足に輪をかける心配がある。役に立たないと言われるリグニンを発酵させてアルコールを作る実験なども早急に発展させる必要がある。やらなければならないことは間違いなく増えている。

本田財団が30年もの間、社会に対して余りある貢献をなしたのは本田宗一郎先生の才能と努力の結果である。今若し本田先生が、自分自身の地位に居られたとしたら、先生は何をどのようにやっておられたであろうか、そしてそれに対して今自分がやっていることが、充分と言えるだろうかという反省を何時も忘れてはならない。



日本、第7回本田賞受賞

西澤 潤一

Junichi Nishizawa

Life Frontier

生命科学と倫理問題

生命のグローバリズム

生命を守る科学技術の可能性

科学技術とパーソナリティ

科学の進歩は、Life Scienceの領域において、様々な革新的技術の進展をもたらした。とりわけ、遺伝子工学を代表とする最先端の生命科学は、ついに“生命の神秘”という神の領域にまで人の手を届かせた……。また、本田財団が誕生してからの30年間、免疫システムの究明や遺伝子工学などの研究の成果が、アカデミックな範疇にとどまらず、臓器移植や遺伝子レベルでの治療など、医学や医療の現場に次々と取り込まれてきた。科学技術の進歩と可能性、さらには生命の尊厳について、エコテクノロジーの視座から考察する。

生命科学と倫理問題

20世紀から21世紀にかけて、生命科学や医療の現場では様々な変革が進みました。その結果、科学技術の変遷と社会や環境とのリンクは、ますます緊密になっています。

例えば、臓器移植は世紀をまたいで試行錯誤を繰り返している医療です。免疫による不適合という医学的な壁もありましたが、HLA抗体の発見が「移植臓器の適合」という医学的可能性を見出し、「臓器移植」を科学技術として発展させることに成功しました。

ただ、医学的な技術が発展しても、社会や倫理において合意がなされなければ“実践できる医療”にはつながりません。

1997年、クローン羊「ドリー」の誕生も、深刻な倫理問題をはらんでいます。除核された胚細胞に別の細胞核を移植するクローン技術は、ヒトへの応用の可能性も十分に考えられる技術です。その後、クローン技術が急速に進歩する一方で「科学技術が生殖行為なしに、同じ遺伝子配列を持つヒトを創造することは許されるのか」という議論には、合意も結論も得られないままになっています。

1990年代に始まったゲノム解析(ゲノミクス)は、予想されていたよりも早く解明されました。これは、世界中の科学者の連帯による成果でした。現在は、アミノ酸からプロテインが

生成される過程の解析(プロテオミックス)へと研究が進められています。

胚性幹(ES)細胞も、大きな可能性と倫理的な問題を孕んだ研究対象です。ES細胞とは、理論上すべての組織に分化する全能性を持った幹細胞の細胞株です。全能性を保ちつつ、ほぼ無限に増殖させる事ができるので、さまざまな臓器や神経、人工皮膚など、再生医療への応用で注目を集めています。

ただし、ES細胞は受精卵から作られます。その“受精卵の命”はどう位置づけられるのか、議論への明確な合意はないままに、技術革新だけが世界各国で進められています。

生命科学技術の進歩には、人を幸福に導く可能性が期待できます。同時に、人を人たらしめる“命”をどう捉えるかという社会的、倫理的な問題も突きつけてくるのです。

では、生命科学は進歩を止めるべきでしょうか。答えは「それでも生命科学は前進すべきだ」でしょう。生命科学や医療技術に限らず、科学は20世紀前半、無条件に人を幸福にする技術だと考えられていましたが、工業が発展すると、環境を汚染する公害が問題となりました。しかし、よりよい環境を取り戻す一助となったのも、また科学技術でした。

技術が生んだ問題や不具合は、技術によっ

世界初の哺乳類の体細胞クローンである雌羊ドリー

1997年イギリスで親と全く同一のクローン羊がスコットランドのロスリン研究所で7ヵ月前に誕生していたことが判明、世界中に衝撃が走った。ドリーは体細胞の核を除核した胚細胞に移植する技術によって誕生(2003年6歳で死亡)。この研究を担ったイアン・ウィルムット博士は、人間のコピーの可能性についても「技術的には可能だろう」と述べ、生命科学が新しい段階に踏み込んだことを暗示。今日まで続く議論的となっている。



て解決されなければなりません。そうだとすれば、今、生命科学者や医学者は、象牙の塔にこもってられない時代を迎えています。

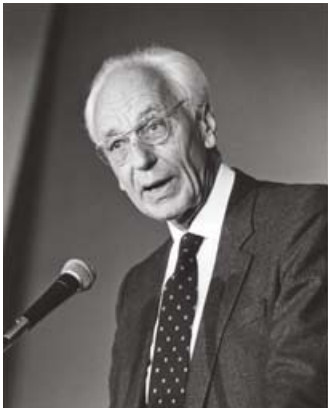
人間の尊厳たる“命”を規定するとき、どのような形で社会的かつ倫理的に、環境との共生を図りながら生命科学や医療技術を推進し

ていくべきか——それは、生命科学や医療を享受する人たちとのコンセンサスを保ちながら、すべての医療従事者が考えなければならない問題と言えるのです。

人間は一人ひとりが唯一無二の存在である

1987年本田賞受賞

ジャン・ドーセ
Dr. Jean Dausset



1916年フランス、トゥールーズ生まれ。1945年パリ大学医学博士。同大学教授を経て1977年からコレージュ・ド・フランス教授。1982年、人類の未来に対する科学の責任、それに直に携わる科学者の責任を問う「科学の責任に対する世界会議 (MURS)」を主宰。国立保健・医学研究所人体移植免疫遺伝学部門研究部長、国立科学研究センター腫瘍学・免疫血液学研究所副所長などを歴任。ノーベル賞、レジオン・ドヌール勲章など、受賞歴多数。

HLA (Human Leukocyte Antigen) ヒト白血球型抗原は、白血球の血液型と言えます。型の種類は多く、組み合わせは数万通りです。この最も重要な組織適合性抗原の1つであるHLAを発見した功績がジャン・ドーセを世界的免疫学者として知らしめることになりました。HLAの発見は、その後の医学への大きな扉を開いたのです。

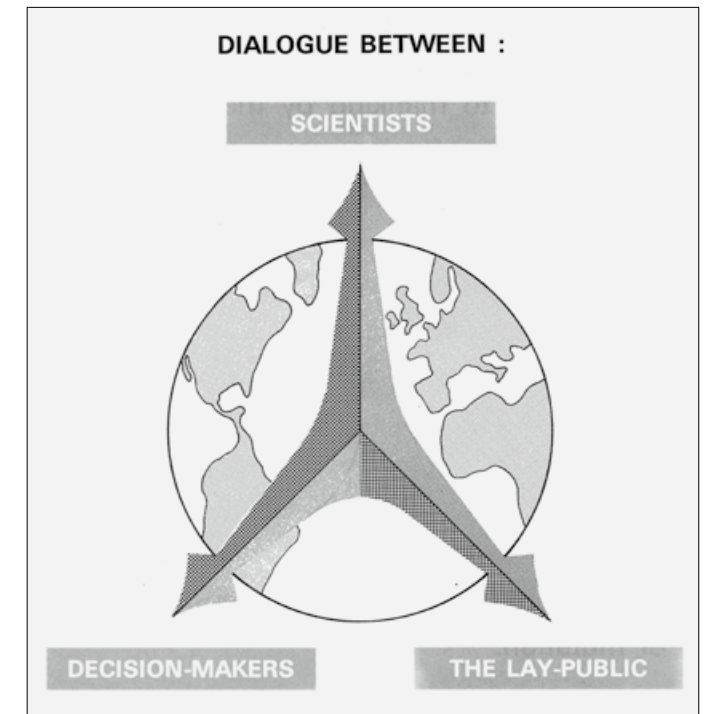
まずは予測医学の可能性につながりました。例えばHLA-B27抗原を持つ人は、硬直性脊椎炎に罹患するリスクが、それを持たない人に比べて600倍も高いことが予測されます。予測医学は、予防医学の前段階に位置する医学となりました。次にHLAの発見は臓器移植の可能性を開くことになりました。HLAシステムの寛容性により、ドナーの適合を知る道が開け、臓器移植が現実の医療として発展していく礎になったのです。

ドーセは1984年にCEPH(ヒト多発型研究センター)を設立しました。その目標はヒトゲノムの遺伝的地図と物理的地図を完成させることにありました。病気の素因となる遺伝子が解明され、予測をして、疾病を予防するという21世紀の医学を目指したのです。ドーセは、しかし言います。「科学者が王国を築けるなどと考えるのは錯覚だ」と。そこにはドーセが言う「科学者の責任」の概念があります。

科学者の責任とは、認識の領域を広げること。すなわち科学者の知識、情報を広く一般に伝えること。それは夢の未来を語ることだけではなく、新しい科学や医学が「いかなるリスクを伴っているか」をも広く一般に伝えるべきだとの考えがあります。もう1つは「デモクラティックなプロセス」を守るという考えです。人間としての倫理を考えて生命科学に向き合う姿勢です。

ドーセは体細胞遺伝子治療が推進されることには賛成の立場を表明しています。非生殖系細胞にDNAを利用する治療法です。例えば疾病という異常事態を引き起こす遺伝子を正常な状態の遺伝子に置き換える治療が挙げられます。有害因子由来の裸体遺伝子を患者に注射することで、因子に対しての免疫を獲得させ、疾病を未然に防ぐなどの治療法も体細胞遺伝子治療の一例です。ドーセは生殖段階の遺伝子

1982年ドーセの呼びかけにより創設された「科学の責任に関する世界会議 (MURS)」は、科学者と一般大衆と意思決定者の「三者対話」を生み出すことを目的としている。科学者には一般大衆に情報を提供する義務がある。それによって世論が形成され、科学の進歩が人類の益になるように活用されるべく意思決定者の注意を喚起することができる。



治療には反対の立場を表明しています。具体的には生殖胚に遺伝子を導入する治療法です。これでは導入される遺伝子が1つの命として継承されてしまうからです。ドーセは言います。「自己にはHLAシステムの抗原からなるバーコードが付いている。人類の一人ひとりがそれぞれ自分自身の組み合わせを持っている。遺伝学的に同一の人物は、過去から現在を通して未来に至るまで一人としていない。その一人ひとりが唯一無二の存在なのだ」と。それが人間のかけがえのない特性であり、他者への敬意は、一人ひとりが唯一無二の存在であるからこそあり得るのだと、ドーセは言うのです。人間存在の再生産を目的とするクローン作製のごとき、人間の尊厳に反する医学的実践は許されざる行為であると表明しています。

ドーセの提唱する「科学者の責任」が医学の枠を超えて、社会に対しての責任にまで及ぶのは、医学が医学という領域に留まらない時代を迎えていることと無縁ではないでしょう。生命倫理は、誰もが考えなくてはならない問題です。科学者の責任と生命科学の倫理にまで言及したドーセの功績は、21世紀のエコテクノロジーを考える上で、1つの指針を示唆するものだといえるでしょう。免疫学を根本から改革し、ヒトゲノム研究の先駆者であったドーセが、1945年に前衛芸術のギャラリーを創設した芸術の理解者であり推進者でもあったことも紹介しておきます。

1953年、トム・ワトソンとフランシス・クリックによってDNAの二重らせん構造が解き明かされて以来、生物の設計図と目される遺伝子の情報を構成するATCGの4つからなるDNAの塩基配列の決定には、世界中が熱心に取り組んできた。とりわけ製薬や治療などの医療分野への応用が期待されているヒトゲノムに関しては、その塩基配列の解読を目的とするヒトゲノム計画が1984年に最初に提案され、1991年から始まり、2003年4月に全作業を終了した。しかし、ここで完了したとされるのは4つの塩基配列の解読であり、その中のいずれが遺伝に関係する遺伝子であるか、あるいは、DNA連鎖の中で「イントロ」と呼ばれ、遺伝子のように遺伝情報を持たないとされている部分は全く意味を持たないのか、それとも何らかの役割を果たしているのかについては、いまだ解明されていない。

生命科学は人類の存在本質について、 より良い理解に導くものでなければならない

1988年本田賞受賞

パオロ・マリア・ファゼラ
Prof. Paolo Maria Fasella



1930年イタリア、ローマ生まれ。1954年ローマ大学医学部卒業。1968年バルマ大学教授、1971年ローマ大学教授を務める。1980年代からは、ECの科学技術研究の最高責任者として、欧州の先端技術共同開発構想「ユーレカ計画」や日本政府主導の「ヒューマン・フロンティア科学計画」など、種々の国際プロジェクトで指導力を発揮。ヨーロッパ分子生物学会議会長、国際生物学連盟会長などを歴任。

パオロ・マリア・ファゼラは、生命科学を基盤として先端技術共同開発構想などを主導し、人間と科学技術の調和ある発展に寄与しました。生命科学の分野ではゲノム整理にリーダーシップを発揮しました。①遺伝学的地図作成。②物理学的地図作成。③サイズ縮小DNA断片の産出。④小型DNA断片の整理。⑤データ処理。⑥整理技術の開発。⑦構造－機能の開発を支配する分子規則。⑧医学、農業、工業分野における応用。こうしたゲノム整理の手順を整理し、推進したのです。

また脳のノイロン接続に着目して生物学的な情報技術を提唱しました。10の11乗以上のノイロン接続によって、情報は非直線的な高度なステップで処理されるメカニズムから、学習と記憶は細胞内の適応変化によって起きる点に着目し、ニューロ・コンピュータの可能性を示唆しました。知性／感情／意識という人間的な活動をテクノロジーに移築することによって、自ら学習するコンピュータの実現を提唱しました。テクノロジーにおいて知的であることは、チェスの対戦を人間対コンピュータで行い優劣を競うようなことではなく、人間の持つ直視力を備えることだとファゼラは言います。

ゲノム解析においても、ニューロ・コンピュータの開発においても、複雑で大規模な研究は、国際協力を必要とするとファゼラは言います。その国際協力が発揮されるべきケースとして、地球の温暖化をどう阻止していくかを挙げています。まさに科学的アプローチを世界中が統合的に協力的に推進してゆかなくてはならないとファゼラは言及しています。森林再生、CO₂削減などは複雑に絡み合う要因を、世界規模で整理し、地球環境を保全していかななくてはならないとファゼラは考えています。「宇宙船地球号」の考えが、生命科学者を超えて、世界のすべての科学者が関わっている問題だと提唱しているのです。エコテクノロジーへの大きな提唱です。

生命のグローバリズム

グローバリズムが押し寄せているのは、政治や経済に限った話ではありません。今や、生命科学においても、地球規模で問題に対応していかなければならない時代なのです。

20世紀前半の医療は感染症との闘いでした。20世紀後半には多くの消化器系感染症が制圧され、呼吸器系感染症も、ペニシリンなどの抗生薬の開発で制圧されたように見えました。しかし、その後、O-157や黄色ブドウ球菌、カンピロバクターなど、それまで表舞台に現れなかった感染微生物が猛威を振るい始めました。HIVウィルスなどの未知の感染症も、国境を超えて人類を脅かしています。

感染の急速な拡大には、国際物流など交通経済の飛躍的な発展が関与しています。ラッサ熱、マールブルグ、新型インフルエンザなど、地球の片隅で発祥した感染病は、あっという間に地球全体に広がります。皮肉にも、急速な拡大感染によって、私たちは「地球が1つであること」を思い知らされるのです。

また、先進国では制圧されたと思われる原初的な消化器系感染症や呼吸器系感染症も、経済発展途上国では、まだまだ人命を奪い続けている死の病です。

一方、比較的感染症に強い先進国の人間は「成人病」に悩まされています。ガン、心筋梗

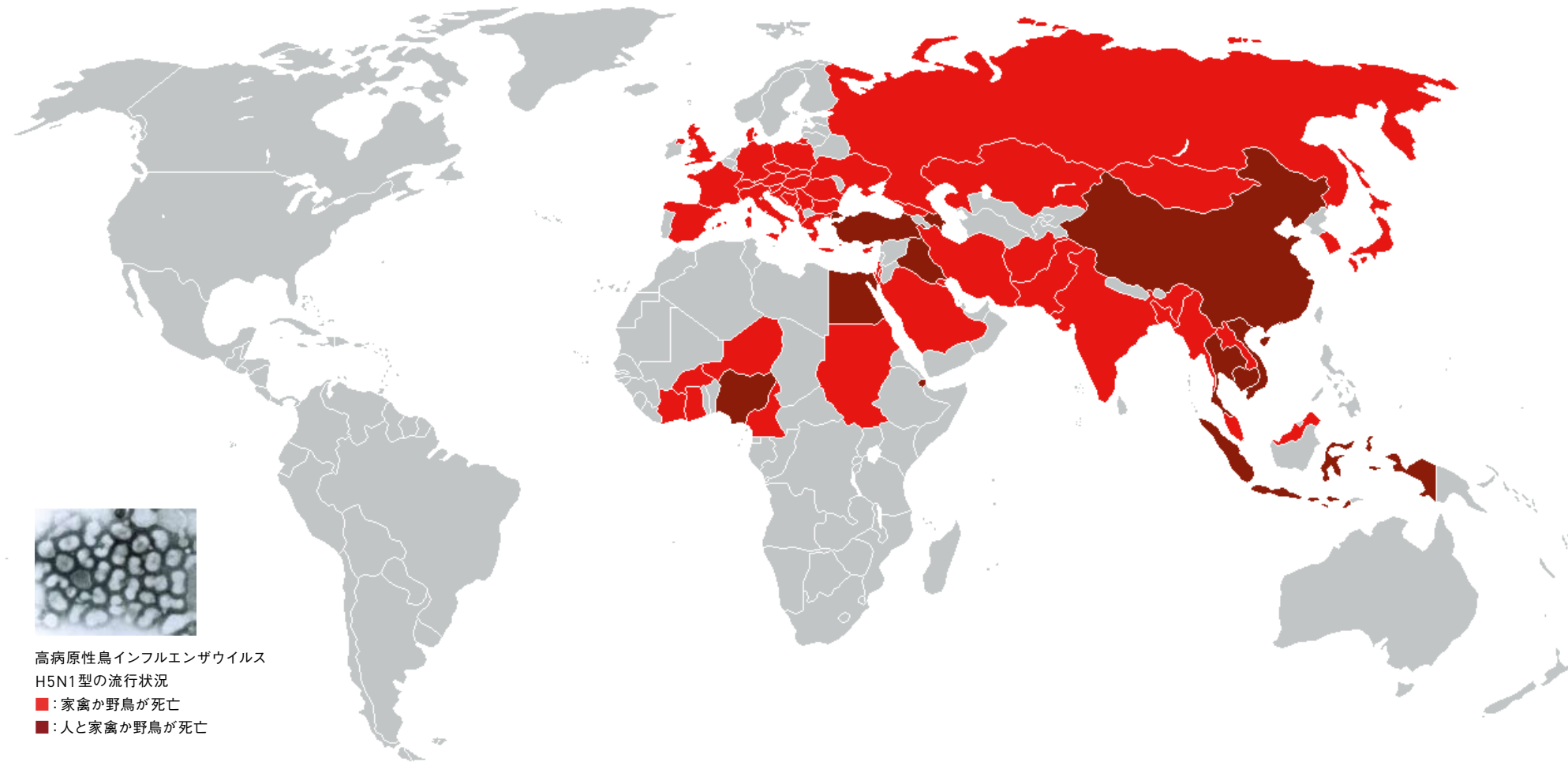
塞、脳梗塞、糖尿病……。高齢化社会に暮らす人々の生活の質(QOL)は、深刻な疾病と隣り合わせの生活のなかにあります。若年から中年期に感染症で落命する代わりに、成人病に脅かされて閑かなる侵襲疾病による死へと向かっていくのです。

しかし、ここにも生命科学の光明はあります。成人病という概念は、今や生活習慣病という概念に変わりました。生活習慣病は、食

事による栄養摂取のバランスや、喫煙、体内ホルモン分泌のバランスなどと相関関係にあります。この相関関係のメカニズムを科学によって解き明かし、理想的な食事摂取や体調管理などを科学的な手法に基づいて進めることで、生活習慣病は克服できるからです。

ただし、地球レベルで問題が解決したわけではありません。バランスのよい食事をとる生活が送れるのは先進国の一部であり、地球の

2005年、東南アジアで猛威を振るっていた高病原性鳥インフルエンザウイルスH5N1型が、欧州やロシアでも相次ぎ確認され、世界的な危機感が高まっている。こうした新興感染症は1976年エボラ出血熱、1981年エイズ、2003年SARSなど、ここ30年の間で少なくとも30あまりが発見。グローバル化の進展により感染症被害は拡大しており、根絶への闘いは新たな局面を迎えている。(出典：WHO)

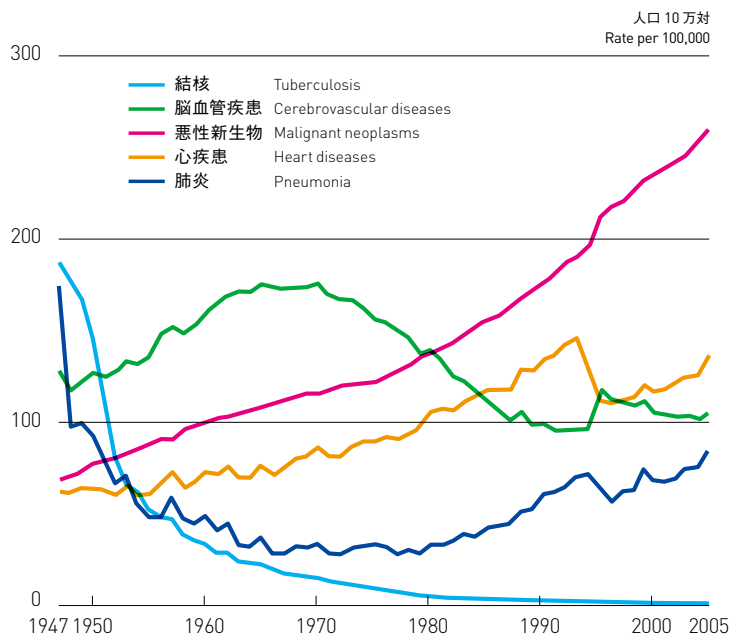


人口のわずかでしかないのが現状です。野菜、果実、穀類、魚類、食肉……そんなバランスのよい食事どころか、その日の必要カロリーすら摂取できない人々がいます。感染症を引き起こさない清浄な水すら入手できない人々が、この地球上に多く存在することを忘れてはいけません。

近來の感染症は、国境での検疫など、政治的アプローチからも防御がなされています。

そこに感染症を拡散させない技術の登場も期待されます。あるいは感染源である微生物への科学的アプローチにも発展の余地があります。さらに、感染してしまった場合の生体防御（免疫など）での新しい医学テクノロジーが進歩する可能性もあります。

生命科学および医療には、地球レベルで取り組むべき課題が、まだまだあるのです。



主要死因別粗死亡率年次推移
(1947-2005、日本)

第二次世界大戦後、結核、肺炎などの感染症による死亡率は減少し、ガン、心疾患などの生活習慣病の死亡率が増加している。世界の死亡原因の第1位はガンであり、約5人に1人がガンで死亡している。先進国の死亡率は特に高く、なかでも日本は約3人に1人とガン死亡率が高い。(出典：National Cancer Center)

ガンの発生率を減少させることは可能である

1996 年本田賞受賞

ブルース・N・エイムス

Dr. Bruce N. Ames



1928年米国、ニューヨーク生まれ。1946年よりコーネル大学で化学・生物学を学ぶ。1950年カルフォルニア工科大学で生化学を研究、学位取得。1968年カルフォルニア大学の生化学・分子生物学教授、83年生化学部学部長。また、米国立衛生研究所微生物遺伝学部門チーフ、米国立ガン研究所理事を歴任。GMガン研究財団のCharles S. Mott賞、アメリカ化学者協会ゴールドメダル賞など、受賞多数。

ブルース・N・エイムスは、ガン発生と老化の原因に環境が果たす要素を研究しています。なかでも疫学調査によって、ガン発生の低下に、喫煙の制限、果実や野菜の摂取量増加、感染の抑制が大きく寄与すると発表しています。

疫学調査は多分野にわたります。例えば高身長だと乳ガンの発生率が高くなることにも触れています。日本の女性は現代では背が高くなり、同時に乳ガンの罹患率も高まったとエイムスは指摘しています。食事と発ガンリスクとの調査研究は教示的です。果実や野菜のなかの化合物が抗酸化体に加えてガンの縮小の重要な誘因となり得るというのです。葉酸が特に重要かも知れないとエイムスは考察しています。果実と野菜の摂取が低い人口集団の4分の1は、肺、喉頭、口腔、食道、胃、結腸、直腸、腎臓、脾臓、頸、卵巣のガンにかかるリスクが、摂取の十分な人口集団に比較して2倍あるという指摘をしています。しかしホルモンの関与するガンのリスク予防効果は弱いとの調査も明らかにしています。乳ガンへの予防効果は30%程度であると示しているのです。

公正で冷静な観察眼は科学者にとって欠くべからざる視座ですが、エイムスはその視座を忘れません。微量な化学合成物質への暴露が発ガンのリスクとなる根拠はないとエイムスは結論づけています。例えば農薬の使用は経口の発ガンリスクであると多くの人々がイメージしていますが、そうした疫学調査はないとエイムスは冷静に調査しています。むしろ農薬の不使用によって果実や野菜の収穫量が減り、低所得者が果実や野菜を購入できなくなる方が、社会人口全体での発ガンリスクが高くなることを懸念しているのです。エイムスの視座は、慢性的な感染が炎症をヒトの身体に継続させることも発ガンを誘発することになるとの調査にも及んでいます。人間に対する疫学的な調査は多くの種類のガンの発症を減らすことにつながるとエイムスは考えています。

21世紀を迎えた現在、地球の人口は70億人を超えようとしています。これからも人口は世界規模で増えていくでしょう。発展途上国でも工業化が進み、都市への人口集中は加速され、農業従事者の人口は減少の一途を辿ります。いったいどれだけの増加人口を地球は抱えることができるのか。それは未知の世界です。地球規模での食糧増産が減る一方、地球環境への負荷は許されない状況です。これらの生命科学に求められるものは、食糧問題も含めて、人類の生命を守りつつ、地球環境をも守る“技術”の開発でしょう。

その点で、1960年代から始まったインド『緑の革命』におけるその後の展開は、1つのモデルケースを全世界に提示したと言えます。その思想は、食糧増産という単一志向性のものでなく、生態系の扶養能力の範囲内で可能な人間生活の向上を掲げています。地球の環境を保全しながらの、生命への科学技術の活用です。「命を支えてくれる地球環境を保つことなくして、人間だけが生き延びることなどできない」というエコテクノロジーの実践なのです。

未知なる生命の危機に科学者が立ち向かうときにも、世界連携の一員として参加していく意気は、これからの生命科学と医療に携わる人たちに求められる資質でしょう。

宇宙に未知の生命はあるのか。多くの科学者が関心を深めています。同時に、海洋、特に深海にも未知の生命が存在するかもしれません。海洋探査によって、調査や研究は進められています。未知の生命は、どのようなプレゼントを人類に与えてくれるのでしょうか。

平均寿命が延びたのは、1つには医療の進歩によって救われる命が増えたことを意味しています。しかし、21世紀は生活習慣病の時代を生きることになりました。では、快適なQOLを実現するためには、どのような栄養学や生活や医療が求められるのでしょうか。確実な指針は、まだ示されていません。そこにも生命科学が寄与する余地があります。

ゲノム解析、プロテイン解析の進展は、確実に新しい医療を私たちに提示してくれるでしょう。再生医療の可能性も人類に夢をもたらしてくれました。医療は科学的に、確実に進歩しつつあります。そこで、私たちは、倫理や、社会のあり方や、環境への影響や、政治のリーダーシップを見守り、精査し、ときには提言をしなくてはならないでしょう。そこにも新時代の生命科学に関する技術が関与する可能性は十分にありそうです。

先進国に暮らすと、貧困や飢餓に苦しむ発展途上国の命を見落としがちになります。経

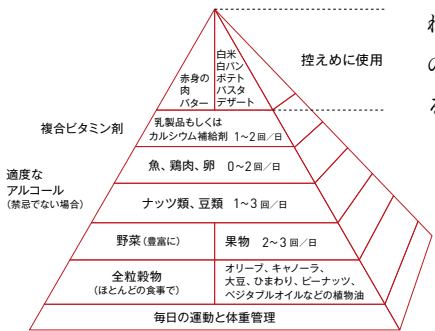
健康な食べ物は健康な環境からしか産まれない

2004年本田賞受賞

ウォルター・C・ウィレット
Dr. Walter C. Willett



1945年米国、ミシガン州生まれ。1970年ミシガン大学医学部で医学博士号。1973年よりハーバード大学公衆衛生大学院で修士号、80年に博士号。のちにハーバード大学医学部教授。同大学を代表する世界的研究者であり、有名なコホート研究である「ナース健康調査」や「医療従事者フォローアップ研究」の指導者の一人。近代栄養学国際賞、チャールズ・S・モット賞など、受賞多数。『Eat, Drink, and Be Healthy』など著書多数。他、900以上の論文が出版されている。



ガンや心疾患などの疫学的研究には、大規模な人口集団を対象に食事による栄養摂取の状況を個人単位で継続的に計測することが不可欠です。しかし大がかりな疫学調査は費用が莫大になり、事務処理も煩雑になります。そこでウォルター・C・ウィレットは食品摂取頻度調査票 (FFQ) を編み出しました。パイロット研究を重ねてアメリカ人の食生活に重要な130品目を選定し、調査票としたのです。統計は有意義でなくてはならない。そこでウィレットは、FFQの精度と妥当性を検討しました。年間に4回、数千人の1週間にわたる食事を細大漏らさずに記録した回答とFFQから算出された栄養摂取量との比較分析をしたのです。そこには詳細調査との相関関係が認められたのでした。

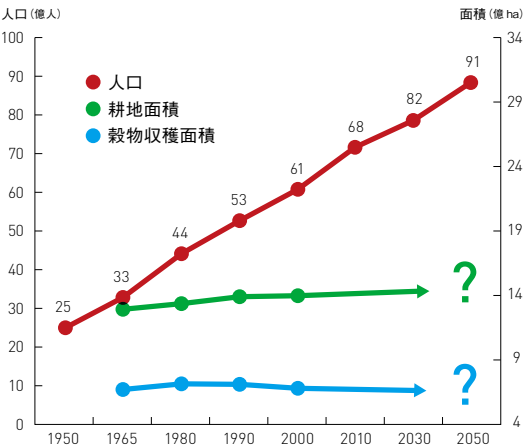
ウィレットの研究は血中要素にも及びます。例えば血中ホモステインの濃度と心疾患と栄養摂取の関係を調べました。食事調査は長期にわたり繰り返し調べることで精度を増します。食事と疾病リスクの様々な仮説と予測が可能になったのです。心疾患、脳梗塞、糖尿病、様々なガン、腎臓結石、胆石、神経系の変性疾患 (認知機能障害等) などの発症リスクと食事の関係について、ウィレットは研究を続けています。民族人種的な遺伝に要因があると思われていた様々な疾患が遺伝による側面だけでなく、食生活の変遷によって発症したり抑制されたりする傾向をFFQによって明らかにしたのは、ウィレットの大きな功績といえるでしょう。

ウィレットは言います。「健康な食べ物は、健康な環境からしか産まれない」と。ヒトの食事と健康と病気に占める環境の重要性はウィレットの危惧するところです。エコテクノロジーによって健全な地球環境を守ることが、健康な食事を摂取できる環境を守ることにつながるのです。

ヘルシーフードピラミッド
ウィレットは、米国農務省によって1992年に作成され、広く流布した「USDAフードピラミッド」に対して、科学的調査結果のもと数々の問題点を指摘した。現在世界的に問題となっている「トランス脂肪酸」についても心臓病、脳梗塞などの疾患の原因に深く関与していることを早くから指摘。「ヘルシーフードピラミッド」では、トランス脂肪酸を含まないオリーブやキャノーラ、大豆、ピーナッツなどの植物油の摂取を推奨している。

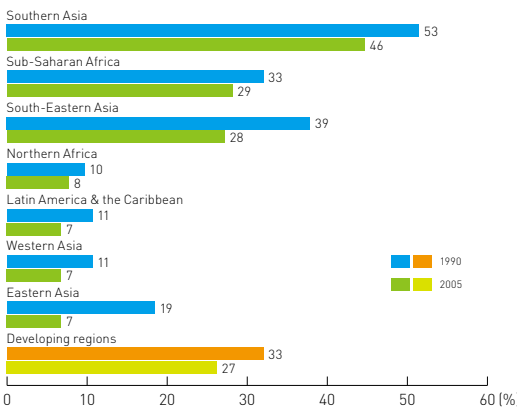
済格差の是正、環境の保全、国家の発展の新しいカタチの探究は、そこに暮らす人々の命、あるいは人類以外の命にも目を向けることが不可欠です。

夢ばかりが広がっているわけではない未来に、そして未来の命に、生命科学の進歩は、これまでになかった希望への可能性を示すかもしれません。



現在約65億人の世界人口は、開発途上国を中心に増加し、2050年には91億人に達すると予測されているが、世界の耕地面積はほぼ横ばいで大幅な増加は期待できない。21世紀中ごろには、人口増加に食糧生産が追いつかず、世界の食糧事情が悪化すると懸念されている。(資料:国際連合/FAO「FAOSTAT」)

5歳未満の体重不足児の割合—1990年と2005年の比較



2005年までに東アジア、西アジア、ラテンアメリカ、カリブ地域で飢餓に苦しむ子どもたちは減ってきているが、その多くは南アジア、サハラ以南のアフリカで占められている。開発途上地域の子どもは依然4分の1以上が栄養不良。栄養不足は子どもの死亡の半分以上に関係しているが、その原因は食糧難にとどまらず、感染症による衰弱やケアの不足にも見いだすことができる。(出典:国際連合)



飢餓を永遠に追放するためには、 地域に合った技術を必要とする

1991年本田賞受賞

モンコンブ・S・スワミナタン

Dr. Monkombu S. Swaminathan



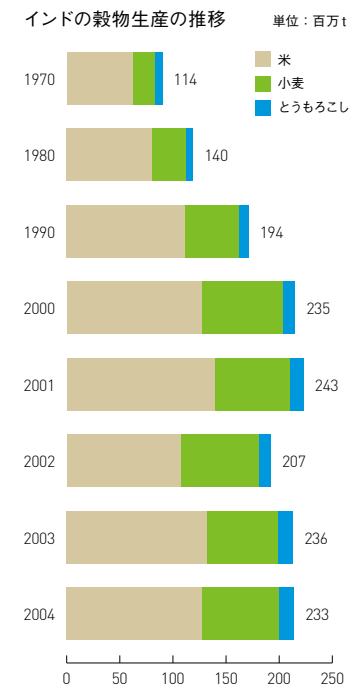
1925年インド、タミル・ナドゥ州生まれ。英国ケンブリッジ大学で遺伝学の博士号を取得。インド農業研究所所長等を歴任。60年代、高収穫品種の開発・普及によってインドの農業復興と「緑の革命」の推進に大きな役割を果たした。88年スワミナタン研究財団を設立し、環境保全と貧困克服のための「永続的な緑の革命」に取り組む。2002年から核兵器の廃絶と世界不戦を目指す科学者団体「バグウォッシュ会議」会長を務めた。

増え続ける人口に食糧生産が追いつけない。20世紀後期には、そうした予測が世界を席巻していました。事実として20世紀の100年間で世界の人口は4倍に増えたのです。世界の人口が西暦1800年頃に1億人に達するまでに100万年以上かかったというのに、1972年当時の世界の人口は38億人（2006年2月に世界人口は65億人を突破）でした。なかでも人口の急激な増加を続けていたインドは「1975年の飢餓」と呼ばれる食糧不足に陥ると予測され注目されていました。しかし飢餓は起きませんでした。そこには食糧増産の国家的計画があったからです。

「緑の革命」とは1968年に米国のウィリアム・ガット氏が提唱した概念です。これをインドで実践したのがモンコンブ・S・スワミナタンです。その実践ぶりを見てみましょう。スワミナタンは1991年10月にインドのマドラスで開かれた「平和と食糧に関する国際委員会」の議長を務めます。計画は具体的な目標として掲げられました。それは食糧増産に留まらず、増え続ける人口への雇用も同時に解決する計画でした。

①小麦1haあたりの収穫高を2.3tから3.1tに、米1haあたりの収穫高を1.76tから2.15tに伸ばし、200万haの灌漑された土地に収穫性の高い小麦や米の品種を耕作にあてる。穀物の生産高を1億7700万tから2億2000万tに引き上げる。雇用が1haあたり50%引き上がる。②綿花畑の面積を3倍にし、1330万梱を2600万梱に増産することで1100万人の就職を可能にする。2500億ルピーの綿織物の輸出をする。③サトウキビの作付け面積を160万ha増やし、さらに1haあたりの収穫高を60tから80tに引き上げる。2000年には国内需要をまかなうだけでなく年間300万～400万tの砂糖を輸出できる。④果物の生産高を50%、野菜の生産高を100%伸ばす。25%の輸出可能な余剰生産を生み、1haあたり平均1万8000ルピーの収入をもたらし、600万世帯を貧困から解放する。⑤5万haの集約的養魚場を開設して淡水水産物の生産高を450万t増産（予測される国内需要の66%する。100万人に仕事を提供することになる。⑥500カ所の養蚕施設を開設し、絹の生産高を2倍にする。75万人へ常勤の仕事を生み出すことに

伝統的なエコロジーの知恵とバイオテクノロジー、IT技術、宇宙技術、再生エネルギー技術といった先端技術の融合を目的に設立されたスワミナタン研究財団「JRD TATA ECOTECHNOLOGY CENTRE」。センターでは、様々な植物の原種を保存するほか、高温や乾燥に耐えるなど地域の生育条件に適した品種改良についても実験・研究が行われている。



「緑の革命」により、インドでは農産物の生産量が年々、右肩上がりの伸びを示した。なお、2002年に落ち込んだのは、大干ばつの影響。（資料：FAO[FAOSTAT]）

つながる。⑧300万ha油食物の灌漑作付け面積を増やし、ピーナッツ、ひまわり、西洋アブラナ、からし菜、サフラワーなど750万tを増産する。⑨予想される産業用木材の需要を満たし、酪農育成計画を充実させるため、450万haの荒地地を開墾して有効利用する。⑩酪農のため飼育される家畜をインド全体で18%増やし、1160万人の新たな仕事口とする。こうしてスワミナタンの計画を精査すると、人口増加の予測に比して、食糧供給と就労の確保を長期的計画に基づいて立案していると分かります。

スワミナタンは、国土の利用というマクロな視座だけでなく、栽培する品種の選定というミクロの視座にも立って、計画を推進していく姿勢を持っています。彼は1961年に腐植病小麦の苗のサンプルに長い穂を持つ矮性種を見いだします。それはメキシコ原産の小麦でした。スワミナタンはメキシコから矮性小麦の種の寄贈を受け、矮性遺伝子の研究を経て、インドに適した長い穂を持つ矮性小麦種の改良に成功します。1964年には1200万tだったインドでの小麦生産高は1990年には5500万tにまで成長しました。科学技術、政策、行政を相互に協力する体制を整えることによってインドの緑の革命は進展をみただけでした。

スワミナタンの姿勢は「生態系の扶養能力の範囲内で可能な人間生活の向上」です。地球環境に負荷をかけず、自然の循環を阻害しない農業を目指しているのです。沖縄に本部を持つ国際マングローブ生態系協会の会長にスワミナタンが1990年に就任したのは、世界の60%以上の人々が、海岸から60km以内に生活している事実から、海岸部の生物学的財産を守るためでした。

未知の生命をどのようにして死滅から守り、 保存して次の世代に伝えていくかが 我々に課せられた使命である

1993 年本田賞受賞

堀越 弘毅

Dr. Koki Horikoshi



1932年埼玉県生まれ。1963年東京大学農学博士。1974～93年理化学研究所主任研究員。1984～90年新技術開発事業団特殊環境微生物プロジェクト総括責任者。1988年東京工業大学生命理工学部教授。1993年東京工業大学名誉教授、東洋大学工学部教授。1987年紫綬褒章。1991年英国国際バイオテクノロジー協会ゴールドメダル。『好アルカリ微生物 ―その発見と応用―』など著書多数。国際極限環境生物学会 (International Society for Extremophiles: ISE) 会長。

1968年の晩秋、堀越弘毅はイタリアを訪れて、日本の伝統とは異なるルネサンス建築を眺めていました。14～16世紀のイタリアと日本の室町時代文化は、全く建築も文化様式も異なります。しかしイタリア人も日本人も同時代を生きていたのです。その時代、イタリア人と日本人は現代のような交流を持たず、お互いは知らない存在でした。堀越氏は「微生物の世界にもこうした多様性があるかも知れない」と思い当たります。微生物研究は酸性条件下がメインでした。なぜなら食物は酸性だからでした。多くの微生物感染による疾病の研究もまた酸性、中性を舞台として繰り広げられてきたのです。

堀越氏は日本に帰るとアルカリ性の培地を調整し、そこに庭の土を入れて37℃で培養してみました。すると30本の試験管に多くのアルカリ性微生物が生育していたのです。好アルカリ性微生物と堀越弘毅の出会いでした。

1984年にスーパーバグプロジェクトがスタートしました。特殊環境下の微生物を研究するプロジェクトです。有機溶媒のトルエンは微生物を0.1%の割合で死滅させてしまう環境ですが、そのトルエンのなかでよく生育する微生物はIH-2000と名付けられました。3層の膜を持つ大腸菌は500～1000のタンパク質を体内に生成します。堀越氏は大腸菌の外層膜を変化させ透過性を増大させて生産物を体外に出す遺伝子を発見しました。この方法で、数種の酵素、ヒトの成長ホルモン、Fcタンパクなどを大腸菌から菌体外に作ることに成功しました。

サイクロデキストリンの大量生産法も開発しました。デンプンから作られる7つのグルコースが環状につながった分子です。中央の空洞に様々な化合物を入れて分子カプセルとして利用できるもので、揮発性のものが不揮発になったり、分解しやすいものが安定したりするのです。熱に弱く、生成の際にトルエンなどの有毒な溶媒を用いて沈殿させて生成率は20～30%と低いのが、それまでの常識でした。この問題を、好アルカリ性バクテリアのサイクロデキストリン合成酵素は、一挙に解決したのです。熱に強く、有機溶媒を全く使用しない技術革新でした。サイクロデキストリンの価格は1kg当たり5万円だったものが2000円

圧力を好む細菌 (好圧菌)



常圧



400気圧



600気圧

堀越氏自ら乗り込み、高圧力の環境下でも活動する「好圧菌」の採取を行った深海探査船「しんかい6500」。極限環境の生命体の発見は、新たなバイオテクノロジーの創出の可能性を大いに秘める。(提供：JAMSTEC)

堀越氏が発見したアルカリ環境下のセルラーゼを応用した酵素洗剤(花王)。家庭用の酵素洗剤として、日本ではポピュラーなものとなっている。



で生産できるようになり、いまでは工業、医薬、食品、農業などの分野の原料に用いられています。

アルカリ環境下のセルラーゼの発見も画期的でした。それまでpH10以上で作用するセルラーゼは見つかっていなかったのです。カルボキシメチルセルロースのみを分解するアルカリセルラーゼの発見は、思わぬ実用化につながりました。酵素洗剤の開発です。木綿は低温で洗濯しても汚れが落ちにくかったのですが、アルカリセルラーゼは汚れを分解して、木綿繊維は傷めないのです。堀越氏が発見したアルカリセルラーゼは、現在では酵素洗剤として家庭用洗剤のマーケットを席巻しています。

高圧力下の微生物の例として、深海に生きる微生物がいます。この深海微生物は海底の土中に存在しています。堀越氏は自ら深海探査船「しんかい6500」や「しんかい2000」に乗り込み、深海底の微生物採取を行っています。彼は言います。「新しい生命体を発見することは、新しい基礎科学を開発することになります。そして新しいバイオテクノロジーを創り出すことになります」と。現在、堀越氏の研究をはじめとして、新しいタイプの微生物学が急速に進みつつあります。この新しい微生物学は人間中心の考え方ではなく、目的とする微生物あるいは生命を中心として考える微生物学です。堀越氏は、本田賞記念講演のなかで、こう語りました。「地球上には知られないでそのまま放置されている生命が数多くあります。これらの未知の生命をどのようにして死滅から守り、保存していくかが我々に課せられた使命であります」

科学技術とパーソナリティ

生命科学や医療に携わる科学者や技術者は、地道な研究や激しい開発競争に対する動機をどこに求めるべきなのでしょう。確かに、科学的な新発見や新技術の開発には、各界からの称賛が得られます。とくに、生命科学や医学は、科学の最先端に位置づけられるものとして称賛と尊敬を集めてきました。

しかし、本来、科学への純粋な動機は、子どもの頃から人間が持つ“未知への好奇心”に裏付けられているのではないのでしょうか。

もし、人間が本源的に持つ科学への純粋な好奇心がなければ、例えば「微生物の多様性」も発見されなかったでしょう。純粋な科学への好奇心は、どこにでもある庭の土中の微生物に向けられました。その結果、医学、農業、工業等の分野で利用される有用微生物を発見できたのです。人類を幸福に導く科学技術は、称賛を求める動機からではなく、好奇心から始まります。そこには、着想の自由さや多様性がみられます。異文化に触れたとき、それを異端と感ずるのではなく、共棲してきた時間への想像力が働くのです。

生命科学においても医療においても、その時代の最先端技術を推進するためには、パーソナリティが重要だと言えます。すわなち、個性に合ったアプローチの展開です。

HLA抗原は「赤血球に血液型があるのなら、白血球にも血液型というものがあるかもしれない」という着想から発見されました。好アルカリ性微生物は「酸性、中性の環境にだけ微生物がいるのではなく、アルカリ性の環境にも微生物はいるかもしれない」という生命の多様性への着目から発見されました。

これら2つの発見を成し遂げた科学者たちに共通するのは、芸術への造詣も深いという点です。科学者であると同時に、多様な文化や表現に対しても直視力を持っていました。それは科学者の個性です。同時に、科学者の素養であるのかも知れません。

ゲノム解析は、世界の科学者が連携しなければ、膨大にして緻密な解析研究を成し遂げられませんでした。一人の能力、一人の研究課題という枠を超えて、世界中の科学者や技術者が連携しなければ、21世紀の生命科学や医療は発展しないということです。

疫学調査はその典型的な例と言えます。膨大な調査を詳細に、長期間にわたり行うという地道な研究ではありません。疫学調査の方法を入念に検討し続けることで、調査精度を上げる努力が必要です。また、疫学に人間のホルモンの関与や合成化学物質への暴露の影響、ときには身長と発ガンリスクとの関連に

人間の身体は一種のエコシステムであり、 医師はそれを極力侵害しないよう、 肉体的損傷を最小限にすべきである

2007年本田賞受賞

フィリップ・ムレ
Dr. Philippe Mouret



1939年フランス、リヨン生まれ。1957年フランス・リヨン大学医学部卒業、リヨン病院勤務医試験合格。リヨン病院で研修医・勤務医を経て、1968年にリヨンに個人病院を開業。81年からイタリア・トリノの個人病院勤務。2000～06年ベトナムのハノイ・フレンチホスピタルで嘱託勤務の他、実践教育プロジェクト「Into The Field」の一環としてインドの「Krishna Hospital in Arnad」に出向。途上国、先進国問わず、内視鏡手術の技法の「伝道師」として世界中を駆け巡っている。



腹腔鏡下胆嚢摘出手術（1987年）

フィリップ・ムレは、リヨン大学で産婦人科と消化器科の教育を受け、外科医としてのキャリアをスタートしました。彼は「外科手術は、人体という自然の摂理に向き合い、それを尊重する行為」と考え、当時すでに産婦人科で行われていた内視鏡（腹腔鏡）を使った検査方法を、患者への肉体的損傷を極力抑える手術に応用できるのではないかと着想します。

そこで1968年にリヨンに個人病院を開業し、腹腔鏡検査および腹腔鏡下手術の手技を磨き、開腹手術が当たり前であった症例にも適用できるという自信を深めます。最初の治療は、1972年腸閉塞の患者に対して行ったものでした。さらに1983年には虫垂切除手術を行いました。ムレの手術は患者の苦痛も少なく快復も早いと評判でしたが、当時の外科の世界では開腹による検査や手術が当然視されていたため、無視され続けました。

1987年、腹腔鏡にビデオカメラを接続することで、手術の内容を記録することに成功し、このとき記録された腹腔鏡下胆嚢摘出手術が、今日の外科手術の概念を大きく変えることになります。しかし、彼は言います。「私は腹腔鏡手術を全く新しい手術概念とは考えていない。むしろ従来の手術の侵襲性、というより攻撃性を緩和する補助的な手段と考えている。その目的は必要最小限の切開を行い、切開時間の苦痛を和らげることにある」と。

その後、内視鏡による手術は全世界で急速に普及しました。医療機器と手術手法の進化により、内視鏡手術は胃ガンや肺ガンにも応用範囲が広がり、最先端ロボット手術の発展にもつながりました。しかし、それは高度な設備と高額な医療費が必要になることでもあります。「最高度の手術よりも、もっと難易度の低い、通常の場合でこそ腹腔鏡手術のメリットが生かされるのではないかと考える彼は、発展途上国でも患者が内視鏡手術の恩恵を受けられるよう、新たな普及に向けた活動を行っています。

ついてまで追跡するなどの調査も不可欠です。

こうした地球環境と人間生命との関連にまで調査の枝葉を伸ばして、丹念な調査を追究するのも、科学技術者の個性であり資質であると言えるでしょう。

人類の幸福を追求する姿勢は、時代の変遷によって社会情勢や経済、政治が変革しても変わってはいらないものだと言えます。

それが科学者や技術者に必須の資質なのですから。



私が代表を務めるM S Swaminathan Research Foundation (MSSRF) では17年間にわたり、エコテクノロジーの意味を食糧安全保障の分野に翻案し、実証研究に結びつけてきました。私たちは常に「7つのE」(ecology = エコロジー、economics = 経済性、ethics = 倫理性、equity = 公平性、employment = 雇用、energy = エネルギー、education = 教育) のバランスを考慮しながら、インドの地域社会をモデルとする「バイオビレッジ」構想を開発しました。「バイオビレッジ」とは環境と技術が両立する持続可能な農業システムを通じて、地域全体の生産性、収益性、安定性を高めることを目指すプロジェクトです。

こうした生態系の破壊を伴わない、持続的な生産性の拡大を訴える必要を感じて私が「エバーグリーン革命」なる言葉を作ってから、20年以上になります。「エバーグリーン革命」の実現には有機農法とグリーン農業という2つの道筋があります。前者は無機質肥料や化学肥料をいっさい使いません。後者は必要に応じて効果的に無機質肥料や化学肥料を利用しつつ、統合的なアプローチで害虫駆除や栄養供給を行います。

現代の農業には人口の急増に見合う、単位面積・水量・エネルギー当たりの収量増大が求められています。そのためには、伝来の農作技術にバイオテクノロジーやIT技術、航空技術、ナノテクノロジーなどの先端技術を融合させると同時に、

様々な野菜や薬用植物の栽培と消費を通じて農作物の多様性を保ち、環境を破壊しない配慮を続ける必要があります。環境と生産の両立、消費活動と商業活動の両立を支えるのは誰よりも生産の主力を担う小規模農家です。そこで、前記のような新旧技術の融合によるエコテクノロジーを彼らに伝達・普及することがとりわけ重要です。組み換えDNA技術があっても、そのもととなる貴重な遺伝資源の保存方法を生産者が知らなければ新たな作物は作り出せません。また資源の保全への取り組みには、それに見合う経済対価を支払う必要があるでしょう。

私たちは持続可能で公平な生物資源の利用を通じて「バイオハピネス」を創造し、全人類の福利と幸福に寄与することを目標としています。このことはエコテクノロジー活動の拡大を通じた「バイオパートナーシップ」の増進と同義です。「バイオハピネス」と「バイオパートナーシップ」は、ともに「バイオピラシー」(生命略奪行為)の撲滅を目指します。本田財団の素晴らしい仕事は、そのために優先すべき活動は何かを私たちに教えてくれます。



インド、第12回本田賞受賞
モンコンブ・S・スワミナタン

M. S. Swaminathan

OUR DREAM 終わりに

この冊子は、本田財団創立30周年を記念して編纂されました。その想いは「より多くの人々に、エコテクノロジーのころざしを伝えたい」と言うことです。なかでも、これから人類の未来を支える若者たちに、特に知って貰いたいのです。

財団がその創成期から唱えて来たエコテクノロジーの思想は、「あくまでヒトと、その集合体である社会を、最も大切にする」ことから出発します。21世紀に至り、ますますシリアスに捉えられ始めた地球環境問題は、それゆえ単に地球にとっての問題ではなく、むしろ地球規模の人類の問題と見做すべき、と考えるのです。

科学技術が諸刃の剣となったのは、人類の長い歴史のなかでほんの最近のことです。まして、そのことに人類が気づいたのは、この歴史のスケールで見れば、まさについ昨日のことと考えて差し支えないでしょう。

エコテクノロジーとは、これからの科学技術を人類自らがコントロールし、真に有益なものとするための技術、メタ技術と見ることができます。

かつて不可能とさえ言われた米国マスキー法に対し、CVCCエンジンが世界で初めてそれを乗り越えて見せたのは、当時最後発の自動車会社を率いる本田宗一郎の技術力が勝っていたからでしょうか？ 本田さんは自らの技術を誇る前に、人間への愛と、技術者としての夢こそ、

その実現の原動力であると見抜いていました。

若者がチャレンジを開始するとき、何かのきっかけというものが在るとすれば、本冊子がまさにその役割を果たせることを願って止みません。本田賞を受賞した先人たちが、いかなる夢を抱いて偉大な業績を残し得たかを、読み取ることができることでしょう。次世代を担う若い諸君の、夢とその眼差しの先に、人類の幸せな未来が訪れることを期待します。

最後に、この冊子を編纂するにあたりご協力をいただいた、本田賞受賞者、本田財団の理事／評議員をはじめ、関係したすべての方々に厚くお礼申し上げます。

2008年3月

本田財団常務理事

伴 俊夫

設立者について



本田宗一郎は、1906年11月17日、静岡県磐田郡光明村（現浜松市天竜区）に鍛冶職人の長男として生まれた。1928年、故郷近くの浜松市に「アート商会浜松支店」を設立し、自動車の修理やピストンリングの製造を始める。のちに東海精機として製造部門を独立、様々な機械類の開発を行う。

戦後、会社を売却し、1946年、浜松市で「本田技術研究所」を創業。1948年、「本田技研工業株式会社」を設立し、社長に就任。自ら内燃機関の研究に従事し、二輪車の生産を開始。その後、四輪車にも参入し、ホンダを日本を代表する世界的企業に育てあげた。1973年、世界初の低公害エンジンCVCCエンジンの開発に成功。同年66歳で社長の座を退き、最高顧問に就任。

現役を退いた宗一郎は、1977年「世界で何が問題なのか」を探るため欧州を歴訪。同年12月27日、「自分は技術だけでここまで来た。技術で問題を解決することが可能ならば、ぜひお役に立ちたい」と語り、人間活動を取り巻く環境全体との調和を図る技術概念『エコテクノロジー』を提唱する団体、「本田財団」を設立した。

1991年8月5日、84歳で死去。勲一等旭日大綬章を受賞。主な受賞歴に、アメリカ機械工学会ホーリーメダル（1980年）、国連環境計画世界の500人賞（1987年）、国際自動車連盟ゴールデンメダル賞（1990年）など。1989年には日本人として初めて米国の自動車殿堂入りした。

エコテクノロジーへの功績を讃える「本田賞」の授与式は、毎年、宗一郎の誕生日である11月17日に合わせて行われる。

A stylized, calligraphic signature of Soichiro Honda, featuring large, bold characters.

Soichiro Honda 1990.12.8

学問にしても技術にしても、この世の中のすべてのものは、

人間に奉仕するための一つの手段にすぎない。

何よりも大切なのは人を愛する心ではないだろうか。

本田 宗一郎

OUR DREAM

エコテクノロジーの叡智を次世代へ

2008年3月発行

*本田賞受賞者の写真は受賞当時のものです。

財団法人 本田財団

〒104-0028

東京都中央区八重洲2-6-20

ホンダ八重洲ビル

Tel. 03-3274-5125

Fax. 03-3274-5103

<http://www.hondafoundation.jp/>

発行責任者

伴俊夫（本田財団常務理事）

監修者

村上陽一郎（本田財団理事、東京大学名誉教授）

編集制作

株式会社アストクリエイティブ

編集

藤本雅史

佐保圭

*

庭山達也

浜崎浩

小崎雄

執筆

Paradigm Shift : 佐保圭

Sustainability : 萩谷美也子

Innovation : 小崎雄

Life Frontier : 浦山明俊

デザイン

平井夏樹（平井情報デザイン室）

黒澤文子（平井情報デザイン室）

写真（本田賞受賞者）

藤森秀郎（日本写真家協会会員）

写真・図版協力

バグウォッシュ会議

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

アメリカ航空宇宙局（NASA）

海洋研究開発機構（JAMSTEC）

宇宙航空研究開発機構（JAXA）

日本放送協会（NHK）

首都大学東京

気象庁

仙台市交通局

株式会社東芝

日亜化学工業株式会社

株式会社花王

株式会社手塚プロダクション

株式会社PPS通信社

株式会社ユニフォトプレスインターナショナル

株式会社アフロ

株式会社アマナイメージズ

高橋真理子（朝日新聞社）

三澤信彦（東京大学海洋研究所）

広瀬茂男（東京工業大学）／NPO国際レスキューシステム研究機構

印刷製本

服部印刷株式会社



財団法人 本田財団

104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20 ホンダ八重洲ビル Tel. 03-3275-5125 Fax. 03-3274-5103

<http://www.hondafoundation.jp>