

産業技術の貢献

笹之内 雅幸

近代に入り、科学と技能が結びついた産業技術は、加速度的な文明の発展に寄与した。一方で、こうした爆発的な技術の発展は資源の浪費をはじめ、負の資産を築いている。ここでは、気候変動問題について、技術がネガティブな側面を克服しポジティブなツールとして再強化されるためには、「総合的視点」、「並列アプローチ」、「Eco-Efficiency（環境と経済の効率）」の三つの視点が産業技術に必要である。これらを支える基盤として、時間的、空間的な相互関係に配慮した「優しさのための科学」が求められる。

キーワード：総合的視点、並列アプローチ、Eco-Efficiency（環境と経済の効率性）

1. 『技術』、『Energy & Climate』、『ビジネス』

サイエンスは、レオナルド・ダ・ビンチ等の例に見られるよう、その昔、芸術と同様に知的な余暇を過ごす楽しみの一つであった。その後、近代に入ると、それまで経験と勘に依っていた『技能』がサイエンスと結びついた『産業技術』となり、加速度的な文明の発展に寄与してきている。例えば、ニュートン力学と構造体設計、熱力学と内燃機関、マックスウエルの電磁方程式と電気機器、量子力学と半導体、等等数限りなく挙げられる。特に、産業革命を引き起こしたジェームス・ワットの蒸気機関は、その象徴であるし、20世紀の米国 MIT に代表されるように産業で世界をリードした国家には、必ずと言って良いほど理系大学が興隆している。しかしながら一方で、こうした爆発的な産業技術の発展は資源の浪費を招いた、物が持つ「使用価値」より「交換価値」を高めてしまい持てる者と持てない者の格差を生んだ、兵器は高性能化し戦争は悲惨さを増した、無視できないテンポで大気・水・土壌が汚染した、絶滅種の増大が懸念されるようになった、等々、負の資産を築いてしまっている。今後とも地球上で数十億もの人々が生物多様性に配慮しながら、持続可能な発展をし続けていくためには、科学技術がこれらネガティブな側面を克服しポジティブなツールとして再強化される時期にきている。

とりわけエネルギーは、情報やモビリティと並び、人々が安全で、健康で、安心して生活していくための生

存の基本である「衣、食、住」を豊かにする基盤要素であるので、この分野における技術革新は最重要課題ではないか。例えば、図1に示されるように人類文明の発展とエネルギー消費には強い相関が見られる。今後もその傾向が続くと仮定すれば、産業技術の重要な役割も、このエネルギー利用を確実なものにしなから、その消費行動と表裏の関係にある気候変動問題の解決に資することが求められる。具体的には、機器の効率向上など少ないエネルギー消費で同等以上の利便性を得る省エネや、風力、ソーラー、バイオや原子力などカーボンニュートラルなエネルギー源の利用（新エネ）を可能にする技術が開発されなければならない。

1992年のリオデジャネイロの国連地球サミットを機に設立された国際的産業団体WBCSD（World Business Council for Sustainable Development—持続可能な発展のための世界経済人会議—）は、「企業の社会的責任」、「ECO Efficiency（環境と経済の効率

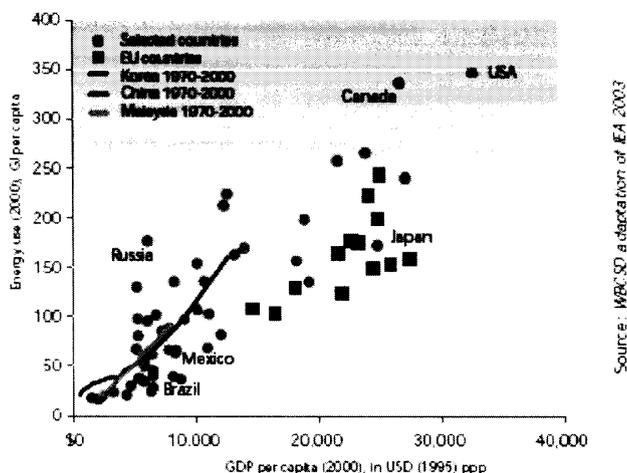


図1 人口当たりのGDPとエネルギー消費（出所：WBCSD）

さきのうち まさゆき
トヨタ自動車㈱
〒112-8701 文京区後楽1-4-18

性)、「市場を通じた持続可能性」、等々、「経済」「環境」「社会」という持続可能性トリプルボトムラインに対する前向きな取り組みを通し、幅広いステークホルダから高い評価を得ている。同団体は、産業界が「エネルギーと気候」問題に対峙する上での、基本ポリシーは、「A」 Quartette (Accessible energy at Affordable prices with Acceptable impacts and Adequate returns for investors)」であると定義した。すなわち、産業界は、エネルギーの調達、利用において、誰もが“公平にアクセスでき”、“購入可能な価格で”、“受容可能レベルな環境負荷に押さえ”、“投資家に利益の還元”ができるビジネスモデルを構築することである。

ここでは、筆者が所属する自動車業界を例にしながら、産業技術のこれまでの貢献と今後の課題について述べてみたい。

2. 『産業技術』の事例

化石燃料を使う自動車において燃料消費の削減は、当面、自動車からのCO₂排出低減に最も貢献する手段である。従来から燃費は資源の保全の観点や顧客の経済メリットからも重要な性能であり、エンジン効率の向上、車体の軽量化、走行抵抗の低減、動力伝達系の効率向上などの対策を総合的に組み合わせ、安全性やクルマ本来の楽しさと両立させながら改良を重ねてきた。図2はその着実な改善を示している。

代表的な個別技術について触れてみると、まずは省エネの観点から、進化するエンジン技術が挙げられる。ガソリンエンジンでは、吸排気バルブのマルチ化や可変バルブタイミングによる吸・排気効率の向上、リーンバーン方式による燃焼効率の改善に取り組まれてきた。また、ディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンに比べ原理上燃焼効率が高く、CO₂削減には高い可

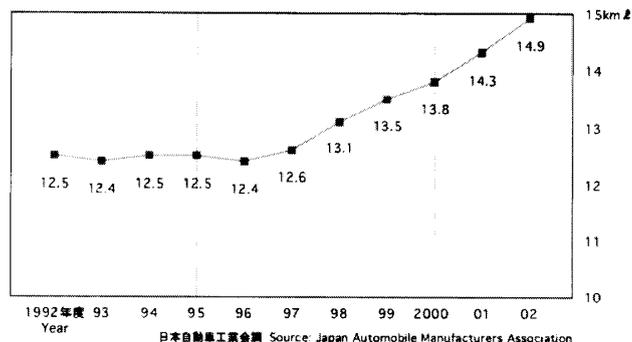


図2 わが国のガソリン乗用車の平均燃費 (出所: (株)日本自動車工業会)

能性を持っているので、特に欧州では、欠点である排ガス中のNO_xなどの大気汚染物質を押さえたクリーンディーゼル車の開発・普及を当面のCO₂削減の最有力候補と位置づけている。

自動車の省エネ技術で近年、特筆すべき新展開はハイブリッド車の登場である。自動車では必要な駆動力が定速、加速、登坂、アイドリング、等々、様々な走行状況で異なるため、エンジンの設計仕様は車両の最大要求パワーに合わせられる。これは普段の常識的な走行では余分とも言えるものだ。事実、常時アクセルを床まで踏みつけるドライブはない。そこで、エンジンサイズは、常識的な速度域の定速走行時にハイブリッド用電池を充電するための若干の余力を持つ必要最低限とし、かつこの時に熱効率が最高となるようエンジンのチューニングをする。追い越しや登坂走行などいざという時は、その電力により駆動されるモータでエンジンを助けてやろうというのがハイブリッドの基本コンセプトである。エンジン効率の悪い発進から低速域は、モータだけで走行するので、停車中にエンジンのアイドリングは原則ストップできる。さらに、熱として大気へ捨てられていた制動時のエネルギーを電車の回生ブレーキのように電気に変え、前述の電池へ戻してやる画期的なシステムである。結果、同クラスの従来車に比べ2倍(国土交通省の試験モード)の燃費改善を達成している。

省エネの一方、自動車でも新しいエネルギー利用への挑戦が続けられている。電気自動車、天然ガス自動車、アルコール燃料自動車、等々、これまでも広範な取り組みがなされてきた。昨今、究極のクリーンエネルギー車として期待が高まっているのが燃料電池自動車である。水素と酸素の化学反応で取り出した電力によって電気自動車を走行させようとするもので、排気ガスは

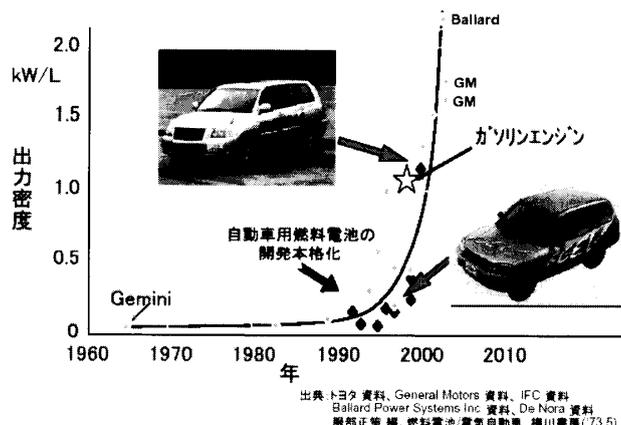


図3 燃料電池の出力密度の進歩

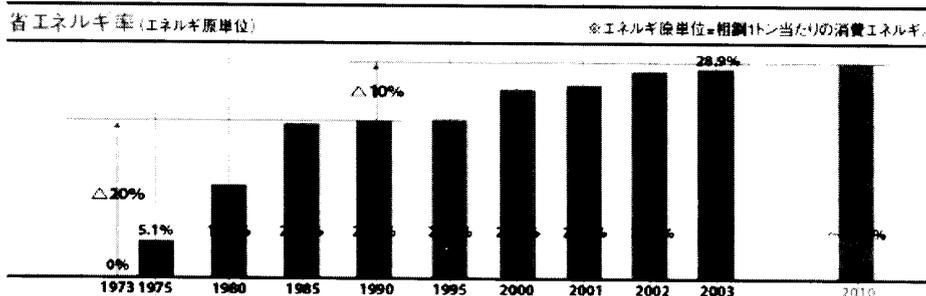


図4 鉄鋼生産での省エネルギー (出所: 新日本製鐵(株))

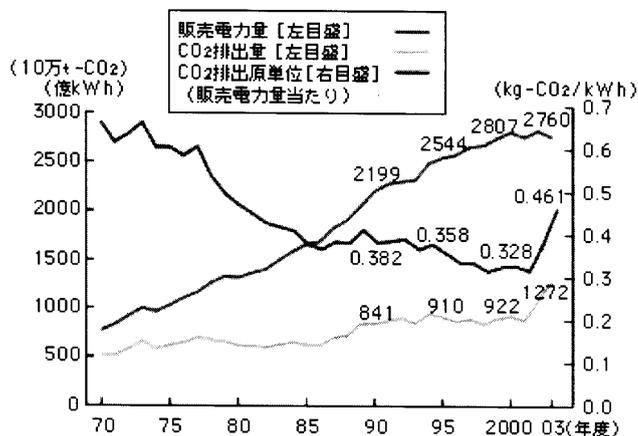


図5 発電における二酸化炭素排出削減 (出所: 東京電力(株))

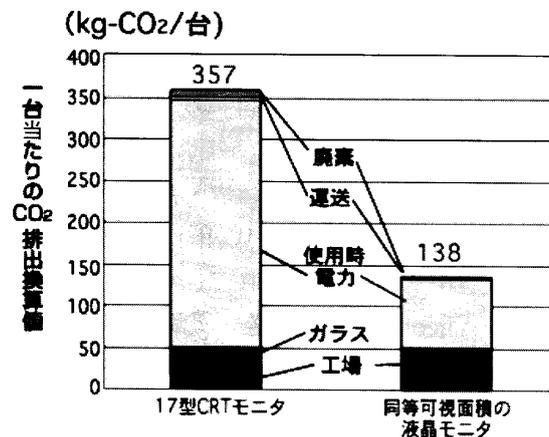


図6 PC用ディスプレイモニタの省電力化 (出所: 財団法人 電気製品協会)

水だけと大気汚染物質も温室効果ガスも全く排出しない。また、燃料電池の場合、水素はエネルギーキャリアであり、水素を作る1次エネルギーが石炭、石油、天然ガス、バイオ、原子力、太陽、風力、等々と多様性が出てくる。これが、エネルギーセキュリティの観点でも有望視されるゆえんである。このようなことから、世界中の自動車会社は電池単体も含め熾烈な開発競争に挑んでおり、そのためか、図3に示すよう燃料電池の自動車への応用開発が本格的に始まると電池性能が飛躍的に伸びた。しかしながら、気候変動防止の観点から言えば、走行段階だけでなく、水素を作る段階でのCO₂発生も抑えないと燃料電池車が気候変動に対する本当の対策になったとはいえない。車両コスト、水素の車載法、寒冷地性能などまだまだ高いハードルの克服と併せ、CO₂の回収・貯留も含めたカーボンニュートラルな水素製造の実現が望まれる。

自動車業界の気候変動問題に対する積極的な努力を例に述べたが、CO₂排出削減努力は、あらゆる産業界で取り組まれている。京都議定書が本年2月16日に発効した。各国への数値目標割り当てプロセスの合理性に疑問が残る上、二酸化炭素大量排出国の米国が

議定書から離脱したことや今後の大幅な排出増加が予測される中国など途上国に削減義務がない等、議定書には多くの課題があり、将来の枠組みを検討する時には見直すべき点も多いが、産業界は京都議定書を気候変動問題解決に向けた重要な第1歩であると位置づけて、自主的な気候変動防止活動に取り組んでいるし、その着実な成果も出てきている。図4は鉄鋼、図5は電力、図6は電気等々の業界の例であり、これらは生産技術、設備の運転や保全にかかわる技術、製品技術、等々産業界が幅広く総合的に技術開発に取り組んだ成果である。

3. 環境技術の開発と普及

CO₂など温室効果ガスのインパクトは、地球上のどこから排出されても同じで長期間続くという地球環境問題の特質を考えたとき、より効果的な対策技術を開発・普及させるためには、「総合的視点」、「並列アプローチ」、「Eco-Efficiency (環境と経済の効率性)」の三つの視点が大切と考える。

「総合的視点」について、再び自動車からの二酸化炭素排出量を例に述べてみる。自動車からのCO₂排

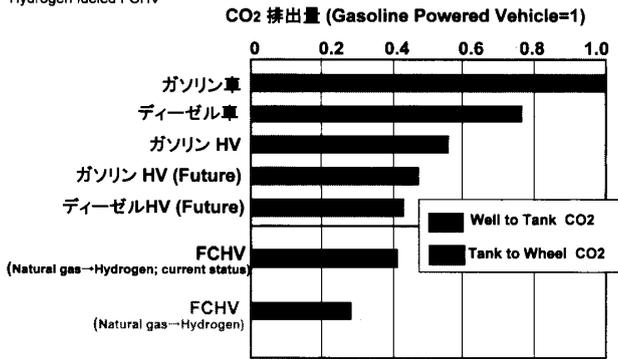


図7 各種自動車用動力源と二酸化炭素排出

出は、とかく走行段階、つまりクルマの燃料タンクから車輪までの「Tank to Wheel」のエネルギー効率に依る排出で議論されがちだ。しかし、上記CO₂問題の特質を考えると、エネルギーの採取・精製と運搬に関わる段階での排出、すなわち「Well to Tank」と上記の「Tank to Wheel」のそれぞれの排出を合わせた「Well-to-Wheel」の総排出量で議論しなければ、地球規模で解決策を考えたことにはならない。例を図7に示す。

図7は、所定の走行モードで通常ガソリン車のWell-to-Wheel CO₂ 排出量を「1」としたとき、各種の動力方式のそれぞれのCO₂ 排出量について比較したものである。最近、注目を集めている燃料電池車(FCHV)は、確かに走行時にはCO₂ を排出しないが、水素を作る段階ではガソリンや軽油より多く出してしまふ。現状のFCHVのレベルでは、ハイブリッド車の今後の進化を考えればそれほどの長所とならない。FCHVを本当の意味で、温暖化防止に役立つ技術にするには、FCHV自身の効率を更に向上させ走行時の水素燃料消費量を下げることと、水素を製造する段階でのCO₂ 発生を少なくする開発が肝心だ。

このような総合的な観点は、製品全体の生涯を通じた環境配慮の重要性にも通じる。そのためには、原料の製造、製品の生産、消費者による使用、廃棄段階、等々のすべての段階を通じた環境負荷を配慮するLCA (Life Cycle Assessment) アプローチが求められ、相互の関係も考慮したトータルでの環境負荷がもっとも少ない技術が選択されなければならない。例えば、超軽量・高強度材料が開発され、それを輸送機器に応用して走行段階での二酸化炭素削減に貢献しても、その材料の製造段階や廃棄段階での使用エネルギーがその削減効果を上回るほど増加してしまえば本末転倒である。図8は、現状のFCHVの例で、必ずしも優位

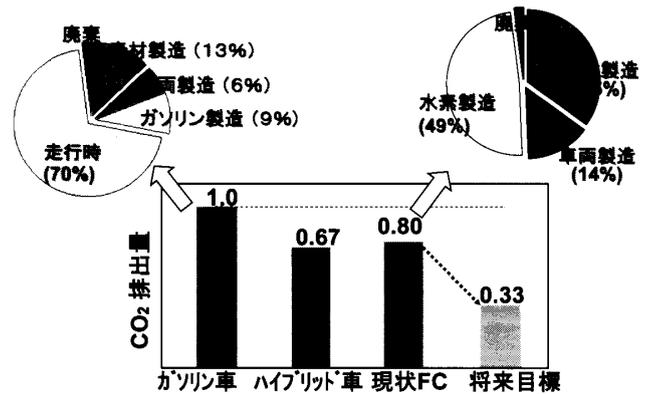


図8 ガソリンハイブリッド車とFCHVのCO₂ 排出LCA比較

とは言えないことを示している。

次に「並列アプローチ」の考え方に触れる。前述したように、企業一特に製造業一はサイエンスの進歩を常に注視し、正しい応用に向けた技術開発に努めることが人類への大きな貢献の一つである。すなわち、あらゆる課題に備え常日頃から幅広い新技術への取り組みをしているかである。しかしながら、最終的に“正しい”技術を選択できるかどうかは大変難しいチャレンジである。特に挑戦しなければならない課題の初期段階においては、問題の本質が不確実で、対策技術の選択肢がたくさん存在してしまう。また、最適技術は地域によって異なる場合もある。このため、最終的に誤りのない技術をいかに絞り込んでいくかが大切だ。このような場合「並列アプローチ」が有効な方法であると考えられる。すなわち、複数の候補技術を同時並行的に研究開発し、かつ市販化して市場に選択を任せるといふものである。一見、非効率と思われるが、70年代の自動車排ガス対策において、このアプローチは実際、うまく機能した。一部メーカーが当初、本命と自社内で絞り込み、市場に導入した対策技術は現存せず、それらの技術も含め、現在、ほぼ100%のクルマに使われている三元触媒+酸素センサー方式を同時並行的に市場導入し、市場の選択に任せた自動車会社の手法が結果的には正しかったのではないかと。今後の最重要課題である二酸化炭素排出の少ない自動車用動力源の開発を例に取り上げると、図9に示すように、究極のクリーンエネルギー車をめざす道は、決して一つではない。むしろ、様々なタイプのクルマを開発して環境性能を社内的にも競合他社との間でも競い合い、走る、曲がる、止まる、等々他の要求性能も含め、その選択を市場に任せたほうがバランスのとれた技術が選ばれるであろう。企業が独断的に特定の解を顧客に押し付

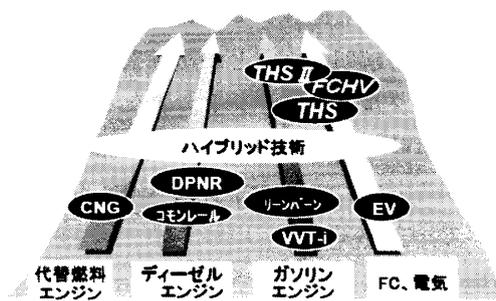


図9 究極のエコカーへの道

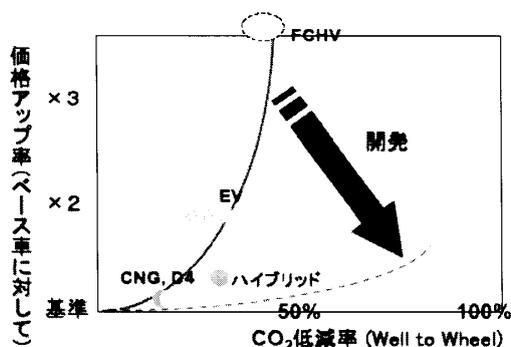


図10 二酸化炭素削減率と車両価格

けるべきではない。

3番目に大切な視点は、「Eco-Efficiency」、つまり環境と経済との整合性は大きな課題である。市場経済システムにおいては、経済性を無視した環境対応は、永続的な活動に繋がらず、時にはかえって社会のお荷物になってしまう。環境と経済の整合を評価する上で重要な指標の一つに、費用対効果がある。例えば、図10に示すようにエネルギー効率が高く、CO₂低減効果が高いタイプのクルマであっても、効果に対し車両価格が同レベルのガソリン自動車に比べて急激な上昇をしてしまうと、Eco-Efficiencyを高めたとはいえない。言い換えれば、高額な燃料電池車1台の費用で、何台もの（場合によっては何十台も）価格上昇が少ない技術でCO₂排出を削減したクルマを導入することができ、このことは、後者の方が総量として二酸化炭素をより多く削減したことを意味する。

さらには、CO₂の場合、自動車から出ても、工場から出ても、発電所から出ても、等しく地球に同等なインパクトを与える。これは、従来型の大気汚染物質と異なる重要なポイントである。したがって、植林や地中貯留を含めた他分野での二酸化炭素のトン当たり削減費用とそれぞれの対策による総削減量のポテンシャルを比較検討しながら、その時点での最も費用対効果が高い技術を導入し、同じ投資でより多くの削減量を早く達成していくことが、実効性の高い気候変動防

止対策である。

4. 今後の期待

20世紀の産業技術を振り返ってみると、まずは1970年代までに数多く花開いたハード面の発明があり、特に50年代以降、アメリカンドリームに象徴されるような家電、自動車、住宅、食品、余暇用品などの民生分野の技術進歩は著しい。80年代に入ると、ソフトウェア技術が台頭してきた。パーソナルコンピュータやメディア用機器に代表されるようにソフトが共通である限り、ハードの構成のいかんにかかわらず利用者は同じ便益を得ることができるようになった。ソフトを世界標準化できたかどうかでビジネスの優勝劣敗が決まってきたのは衆知の事実だ。つまり、これらは、20世紀の人類文明が「豊かさ」と「便利さ」を追求してきた結果である。それでは21世紀の技術開発のためのキーワードは何であろうか。文明が進化したにもかかわらず、気候変動、種の絶滅、自然災害、有害化学物質、貧困、人口爆発、テロリズム、人権侵害、巨た事故、等々、いっこうに改善されないものが多い、むしろ悪化している面もある。そういう中、90年代、世紀末に近づくにつれ、経済開発、環境保全、社会開発をトリプルボトムラインとする「持続可能な発展（開発）」の重要性が叫ばれるようになったのは、人類が「安心」を新たなキーワードとして「豊かさ」と「便利さ」に加えようとの機運の現われと思われる。そのためには、科学技術が、地球・地域の健全性、安全確保、環境保全に貢献するものでなければならない。産業界は、技術の研究・開発から市販までをスルーで行えるので科学技術の正しい活用において今後も大きなポテンシャルを有しているプレーヤーと言えるのではないか。言い換えれば、各企業は、この役割を果さなければ企業自身の持続的な発展を望めない。

気候変動対応技術は、地球規模で幅広く普及させてこそ大きな効果が生まれるので、途上国も含めたグローバルな拡がりをさせるためには、業界・業種・個別企業の壁を越えた連携、大企業と中小企業との協力、企業内のグローバルな連結ベースによる環境マネジメント、等々で広範な技術ノウハウの横の展開を進めれば、この分野でも、数多くのデファクト技術が誕生するであろう。また、技術革新は市民の環境保全意識と一緒にあって初めて効果を発揮する。したがって、企業は、技術の開発に取り組むことはもちろんのこと、顧客に対しその適切な使い方を率先して説明する役

割が期待されている。

冒頭で述べたように、科学は日常起こる不思議な特異現象を感じ取り、その一般解を見つけることによって知的好奇心を満足させるものであった。そして、科学の進化は、この知的好奇心がマイクロとマクロの2極化を過程にしながら進んだとも言える。例えば、目視の範囲の現象から原子核の内部へとどんどん物質の根源に近づいていく一方、地球圏や音速の領域から宇宙の構造や光と時間の相関など壮大なスケールでの理論が構築された。これは一定のダイナミックレンジを保ったアプローチである。すなわちマイクロはマイクロの範囲で、マクロはマクロの範囲で議論されてきた。超マイクロから超マクロまで一つの科学的視点が包含するアプローチは少なかったと思われる。今後「安心」のための科学には、ダイナミックレンジを広げたアプローチが重要になる。常に現象のマイクロからマクロまでを同時に配慮した物の考え方が今後は求められ、すでにそのようなシグナルが感じられる。例えば、地球を細かいメッシュで細分化し巨大な地球全体の気候をモデ

ル計算しようとする地球シミュレータ、思いもよらない他への影響を解明しようとの複雑系の科学、前述したライフサイクルアセスメント、等等。これらは、言い換えれば時間的、空間的な相互関係に配慮しようとの取り組みで、このような周りへの「優しさのための科学」で、より多くの一般解を見つける挑戦に産業界も積極的に関わっていくべきである。

5. おわりに

環境は、学問や教育の体系においてもいまだ発展途上と言われており、その確立には、文系、理系に問わず幅広い人材が求められている。国の科学技術政策を審議する委員会でも、「21世紀の人類が直面する環境、食料問題等で、自然科学と人文・社会科学の緊密な連携」が課題として指摘されている。ぜひ、あらゆる分野の専門家が、「環境」という軸で率直な意見を交換し、わが国が世界をリードする環境技術創造立国となることを期待したい。