

## 戦略的創造研究推進事業(CREST)における 研究領域「環境低負荷型の社会システム」追跡評価報告書

### 1. 総合所見

地球温暖化問題が深刻化し、多様な対策が講じられつつあるが、我々の社会の構造を低環境負荷型さらに的を絞り込んだ低炭素型に変革するには、新しい技術だけでなく、新しい制度やシステムの導入が不可欠であるとの認識が深まりつつある。「環境低負荷型社会」というキーワードは本 CREST 研究が開始された時点では新しいもので、今日当たり前のように使用されている「低炭素社会」および「循環型社会」というキーワードの先駆をなすものであった。この時期に、計測・評価という上流側の研究から、対策技術の開発、更には社会システムの在り方の検討といった下流側の研究までを統合的に捉える視点を重視し、特に、社会科学系の研究およびシステム研究を積極的に採択したことは研究統括の卓越した識見に基づくものと評価される。ややもすると個別分野に特化しやすい傾向のある日本の研究課題設定において、俯瞰的・横断的アプローチを試みた点に特徴があったといえよう。

本研究領域を構成する広範な分野は、4つに分類することができる。その内、自然科学技術系である「環境計測・評価技術」、「環境対応技術」、「環境低負荷技術」の3分野の研究においては、発表論文総数などがプロジェクト終了後概ね大きく伸びており、研究の進展が著しいと評価できる。出願特許総数は「環境対応技術」、「環境低負荷技術」分野の殆どすべての課題について相当の数に上っており、研究成果の活用が進んでいると評価できる。「社会システム」分野の研究については、その成果を発表論文総数などで評価することは適切ではないが、5課題のうち2つが論文総数は少ないが倍増以上の伸びを示しており、研究の著しい発展を示唆している。また、これらの研究課題における研究の発展状況は、公的研究資金による研究プロジェクトの獲得状況から見ても明らかである。

研究成果の科学技術の進歩への貢献という視点から、多くの特筆すべき研究の発展があった。環境リスクの概念を発展させ我が国のリスク研究を先導する役割を果たした「環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則」、日本発の新たな地球温暖化ガス解析法を開発した「アイソトポマーの計測による環境物質の起源推定」、東アジアという広域を舞台として酸性物質とオゾンの長距離輸送と生成・消滅を始めて明らかにした「東アジアにおける酸性物質及びオゾンの生成と沈着に関する観測と環境影響評価」、再生可能なバイオマス原料から微生物を用いて生分解性プラスチックを生産する新技術を開発した「環境低負荷型の高分子物質生産システムの開発」、実用的な電気自動車実現に向けての革新的技術を築いた「都市交通の環境負荷制御システムの開発／サブテーマ：電気自動車の開発」、地球温暖化防止に向けた国際的枠組みの経済的意味について我が国で始めて本格的な研究に取り組んだ「地球環境保全のための国際的枠

組みのあり方」、経済的社会的次元を合わせた技術システムの研究により社会技術研究の今後の1つの方向性を示唆した「社会実験地における循環複合体の構築と環境調和技術の開発」等の研究課題を事例として挙げるができる。

研究成果の応用に向けた取り組みという視点からも多くの特筆すべき研究の発展があった。社会的応用に向けた研究の発展としては、化学物質管理原則の提案などを通じて現実の環境政策を主導する役割を果たした「環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則」、東アジア酸性雨モニタリングネットワークの構築をもたらした「東アジアにおける酸性物質及びオゾンの生成と沈着に関する観測と環境影響評価」、ツバル国など造礁珊瑚島嶼環境を守る科学技術外交推進研究（JICA-JST 共同研究）へと発展した「サンゴ礁におけるCO<sub>2</sub>固定バイオリクター構築技術の開発」の各研究課題を事例として挙げるができる。経済的応用に向けた研究の発展としては、バイオポリマーの製品化へ発展した「環境低負荷型の高分子物質生産システムの開発」、高エネルギー効率・高性能の電気自動車を開発し複数企業とのコンソーシアムに発展した「都市交通の環境負荷制御システムの開発／サブテーマ：電気自動車の開発」、新しい方式の小型廃棄物ガス化発電を実証しベンチャー企業に発展した「高温空気燃焼技術を用いた廃棄物・石炭高効率発電」、環境浄化技術とバイオガス製造技術のベンチャー企業に発展した「微生物機能強化による水環境修復技術の確立」各研究課題を事例として挙げるができる。

以上のように、本CREST研究終了後の発展状況、成果の活用状況から見て、研究成果から生み出された科学技術の進歩への貢献、及び社会的・経済的な応用に向けての発展には見るべきものがあり、参加研究者の十分な活躍の点から見ても、この研究領域の成果は十分に評価でき、その意義は高い。

一方、難を言えば、本研究領域は、自然科学技術系から社会科学系、基礎研究・要素技術研究からシステム研究まで極めて広い科学技術の分野を包括し、その中で限られた数の研究課題を公募の形で採択した結果、やむをえないことながら、各研究課題の研究はほとんど互いに連携することなく個別に進められることとなった。また、将来の到達目標として「環境低負荷型の社会システム」を掲げながら、各研究課題における実際の研究はそのための基礎技術に重点を置かざるをえなかったが、これらの多くにおいて、「環境低負荷型の社会システム」の形成に対する貢献度が不明確で、またそれに至る経路の議論が不十分と思わざるを得ず、今後に残された課題と言えるであろう。

## 2. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域では平成7年度～9年度に21の研究課題が採択されたが、その分野の広がりや範囲はきわめて広範である。研究成果の評価にあたっては、これらを「環境計測・評価技術」、環境の保全に資する「環境対応技術」、環境の改善に資する「環境低負荷技術」、および「社会システム」の4つのカテゴリーに分類することができる。

「環境計測・評価技術」6 課題、「環境対応技術」6 課題、「環境低負荷技術」5 課題に分類される自然科学技術系の研究においては、発表論文総数が本 CREST 研究終了後 5 年間に於いて概ね大きく伸びており、研究の進展が著しいと評価できる。

また、「環境対応技術」、「環境低負荷技術」分野の殆どすべての課題において、研究終了後 5 年間の出願特許総数は相当の数に上っており、研究成果の活用が進んでいると評価できる。

「社会システム」の研究については、その成果とその後の発展・活用状況を発表論文数等から評価することは必ずしも適切であるとはいえないが、5 課題のうち 2 つが論文総数は少ないが倍増以上の伸びを示しており、研究の著しい発展を示唆している。

本 CREST 終了後の研究の発展状況を公的研究資金による研究プロジェクトの獲得状況から見ると、例えば、研究課題「環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則」の成果は、産業技術総合研究所に新設された化学物質リスク管理研究センターにおける研究に引き継がれ、その後更に、NEDO による「ナノ粒子の特性評価に関する研究開発プロジェクト」に発展した。研究課題「アイソトポマーの計測による環境物質の起源推定」の成果は JST 発展研究 SORST「アイソトポマーによる温暖化気体ソース・シンクの定量評価」に引き継がれた。研究課題「環境低負荷型の高分子物質生産システムの開発」の成果は同じく JST 発展研究 SORST「高性能バイオプラスチック生産システムの確立」に引き継がれた。研究課題「質の利用を中心にすえた新しい都市水代謝システムの構築」を引継ぎ「流域圏の持続可能な水・廃棄物代謝システム」が平成 15 年度文部科学省「21 世紀 COE プログラム」に採択され、研究成果の発展が行われている。研究課題「地球環境保全のための国際的枠組みのあり方」は平成 15 年度 21 世紀 COE プログラム「先端経済分析のインターフェース拠点の形成」に引き継がれた。

各研究課題は自然科学技術系の基礎的研究から社会科学系の研究にいたる多様な課題を含み、研究成果を分野横断的に比較・評価することは、研究の特質を考えると、本来困難であるが、以上のように全般的に見て、その後も大きい発展と成果の活用が進んだと認められる。

但し、先に述べたように、本研究領域が対象とした科学技術の分野は、自然科学技術系から社会科学系、基礎研究・要素技術研究からシステム研究までも極めて広く包括した他にほとんど例を見ないものであった結果、研究総括の研究領域運営のご苦勞は大変なものであったと想像できるが、結果として問題点もなしとは言えない。極めて広い科学技術の領域の中で限られた数の研究課題を公募の形で採択した結果、やむをえないことながら、各研究課題の研究はほとんど個別独立に進められることとなった。その結果、各研究課題で得られた成果が有機的に統合されることが少なく、研究領域総体としての成果としてのまとまりにかけた点があったと言わざるをえないであろう。

### 3. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効

果

### 3.1. 研究成果の科学技術の進歩への貢献

「環境計測・評価技術」、「環境対応技術分野」分野を中心に、次のような特筆すべき成果が得られた。

研究課題「環境影響と効用の比較に基づいた化学物質の管理原則」は、環境リスクの概念を発展させ、化学物質のリスク評価指針を示し、わが国のリスク研究を先導する役割を果たした。CREST 研究終了後、産業技術総合研究所に化学物質リスク管理研究センターが新設されるに至り、研究の更なる発展と成果の社会への普及が図られた。更に、ナノテクノロジー・ナノ粒子などの新技術・新物質のリスク評価の研究という新しい研究領域を拓いた。

研究課題「アイソトポマーの計測による環境物質の起源推定」においては、新しい計測法をメタン、一酸化二窒素などの地球温暖化ガスに適用し、その発生・消滅などのサイクルを正確に記述するための基礎を確立した。本解析法は日本発の新たな解析法であり、世界に先駆けて新しい科学技術の適用領域を拓いた。本研究終了後 5 年間の総発表論文は 100 を超え、引用度も高い。

研究課題「東アジアにおける酸性物質及びオゾンの生成と沈着に関する観測と環境影響評価」においては、東アジアという広域を舞台として酸性物質とオゾンの長距離輸送と生成・消滅を始めて明らかにした。本研究の発展として、アジアのような大陸規模にとどまらず、半球規模、全球規模で大気汚染を捉える視点の重要性が認識されるようになった。

研究課題「環境低負荷型の高分子物質生産システムの開発」では、微生物を用いた生分解性プラスチック生産という新技術を開発し、再生可能な糖や植物油などのバイオマス为原料として用いる新しい科学技術の分野を拓いた。更に我が国のバイオポリマー分野の研究を牽引する役割を果たした。

研究課題「都市交通の環境負荷制御システムの開発」のサブテーマ「電気自動車の開発」は、世界的に注目を浴び、国際学会である IEEE（電気電子工学会）の雑誌 *Spectrum* など多数の学会誌でも取り上げられ、今日における実用的な電気自動車実現に向けての基礎技術を築いたといえる。

研究課題「地球環境保全のための国際的枠組みのあり方」においては、排出権取引、クリーン開発メカニズム等、温暖化防止に向けた国際的枠組みの経済的意味についての研究に取り組み、以降このような分野の研究がわが国において盛んに行われるようになるさきがけをなした。また、環境という自然科学分野と経済学とを融合させた新しい分野融合領域を拓いたと評価できる。

研究課題「社会実験地における循環複合体の構築と環境調和技術の開発」では、工業製品、有機食品、建設物を対象として、経済的次元、社会的次元も合わせた技術システムの研究を実施し、社会技術研究の今後の 1 つの方向性を示唆した。

### 3.2. 研究成果の応用に向けての発展

社会的応用に向けた研究の事例として、次のような発展があり、また社会的貢献が見られた。

研究課題「環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則」の研究は、自然科学的な研究を社会システム形成に資するものに発展させ、化学物質管理原則の提案などを通じて、現実の環境政策を主導する役割を果たした。

研究課題「東アジアにおける酸性物質及びオゾンの生成と沈着に関する観測と環境影響評価」研究によって開発・確立された計測手法を技術的基礎として、「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク」が日本のイニシアチブにより構築された。

研究課題「サンゴ礁における CO<sub>2</sub> 固定バイオリクター構築技術の開発」は、ツバル国を対象として造礁珊瑚からなる島嶼環境を守る具体的な方策を考えるための科学技術外交推進研究（JICA-JST 共同研究）へと発展した。

経済的応用に向けた研究の発展としては、「環境低負荷技術」中心に次のような注目すべき発展がみられた。

研究課題「環境低負荷型の高分子物質生産システムの開発」において開発された生分解性プラスチック生産技術は、(株)カネカに継承され、バイオポリマーの製品化へ発展した。

研究課題「都市交通の環境負荷制御システムの開発」におけるサブテーマ「電気自動車の開発」においては、高エネルギー効率・高性能の電気自動車が開発され、複数企業とのコンソーシアムに発展した。本研究は低炭素社会の実現に向けた環境技術の最先端を拓いたといえることができる。

研究課題「高温空気燃焼技術を用いた廃棄物・石炭高効率発電」においては、新しい方式の小型廃棄物ガス化発電の実証に成功し、ベンチャー企業「エコミート・ソリューションズ」に発展した。

研究課題「微生物機能強化による水環境修復技術の確立」において開発されたメタン発酵による環境浄化技術とバイオガス製造技術は、ベンチャー企業「筑波バイオテック研究所」に発展した。

以上のように、本 CREST 研究で取り上げられた研究課題はその多くが現在も継続的に進められ、環境科学技術の発展、ならびに社会経済的な発展に貢献していると評価できる。特に、研究課題「環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則」のように、自然科学系の研究成果が社会システムを環境低負荷型に転換することを直接促すことにつながった事例が生まれたことは貴重である。

但し、難を言えば、経済的応用に向けた研究課題の多くにおいて、経済的な効果の規模が明確でなく、この視点によっても評価することができれば、研究成果の位置づけが

より明確になると思われる。また、より直接的に社会システム転換を目的とする社会技術研究において、着想の優れたモデルとしての成果は評価することができるが、社会実験まで行われたものはなかったことは残念と言わざるをえない。

更に、これらの研究課題の多くにおいて、本研究領域の目指した「環境低負荷型の社会システム」の形成に資する経路が未だ不明であり、言い換えれば、どのような社会システムの下でその成果は有効性を発揮するのが不明確であることは、今後に残された課題と言えるであろう。

### 3.3. 参加研究者の活動状況

各研究者にはその後種々の助成機関からの研究費補助金等による研究者集団のリーダーとして活躍している者が多い。本プロジェクトの参加研究者には大学・研究機関等における地位の昇進、学会等からの受賞の対象となった者も多い。特に、研究代表者の多くが現在も第一線で活躍し、後継者の育成にも貢献している。例示すれば、秋元チームによる研究は、EANET「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク」を実現させ、秋元研究代表者自身がセンター責任者として研究基盤の強化を推進している。更に同チームによる研究は、東アジアの越境大気汚染研究(例えば地球環境総合推進費研究課題)に受け継がれ、多くの後継者を生み出している。中西研究代表者は日本における最初の化学物質リスク評価の研究センターとして新設された産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センターのセンター長に就任し、現在は同安全科学研究部門の部門長として活躍している。

多くの研究チームにおいて、異分野の研究者が融合しあるいはネットワークを作って新しい研究分野を拓き、我が国の新しい研究基盤を築いたと評価できる。例えば、土肥チームでは、世界でも珍しい例として、高分子科学者と分子生物科学者が共同して研究に取り組んだ。中西チームでは、工学、経済学、生態学の視点を統合して研究が進められた。佐和チームでは、環境系科学技術と経済学とを結びつけた新しい分野融合が行われた。

本研究領域が最終的に目指した「社会技術」、「社会システム」の研究という視点からは、社会実験にまで踏み込んだ研究の展開が必要である。本 CREST 研究の期間ではそのようなフェーズにまで踏み込んだ研究が行われるには至らなかったが、そのためには研究者集団の育成・強化に加えて、行政や地域社会との連携、強化がなくてはならない。十分とは言えないが、本 CREST 研究の中からそうした志向を持った研究が出てきたことは貴重である。

## 4. その他

CREST 制度の最大の意義は、わが国はもとより世界の将来に貢献する先駆的かつ未踏な領域の研究を行うことにあると思われる。その意味で研究統括の人選は最も重要で

ある。研究事業の性格と研究の目標から考えて、採択された研究課題の全てに対して卓越した研究成果を期待することは本来不適切である。本研究領域で採択された研究課題の半ばが特筆すべき研究成果をあげ、さらに研究を継続・発展させている、あるいは社会に応用されていることは高く評価されるべきである。

また、CREST 制度が若い研究者を困難な課題研究に参加させ、将来につながる能力開発と視野を広げるチャンスを与え、更に多くの研究者が研究成果を継承・発展させた研究プロジェクトにおいて新しい研究活動に従事していることを大きく評価したい。

「環境低負荷型の社会システム」への寄与という目標からは、いわゆる理工学系自然科学技術分野にとどまらず、生物系（農学、医・薬学）の分野をも包含することが必須であり、これらを除外しては「環境低負荷型社会システム」の研究は不十分である。本領域の研究課題のいくつかにもそのような視点が認められる。今後このような目標の研究プロジェクトを構想する際の重要な課題であろう。

尚、本研究領域では自然科学技術系から社会科学系までも極めて広い分野の研究課題が採択されたが、それらを同一の基準で評価することは非常に困難である。少なくとも、自然科学系研究で多く用いられている発表論文数などは社会システム系にはなじまない。今後、社会科学系研究、社会システム系研究の評価基準を検討し、確立する必要がある。

以上