

# ERATO 相田ナノ空間プロジェクト 追跡評価報告書

## 総合所見

ERATO「相田ナノ空間」プロジェクトは、広い視野から新たなナノ空間の構築と機能創出を目的として実施され（2000–2005）、中間評価（2002年）では実施状況と意義・将来性のいずれにおいても評価A、事後評価（2005年）では秀（excellent）と判定されている。全体として、このプロジェクトは、学術応用の両面において国際的に注目される多様・広範で意義のある成果を挙げ、終了後の展開と波及も顕著である。また、チーム構成員の過去の成果に拘泥せず、むしろ「ゼロからの出発」を強く意識して新領域を開拓するというリーダーの姿勢が明確であり、その姿勢は事後の研究展開にも反映されている。

これらから、本プロジェクトの事後の発展と波及効果はきわめて高く評価される。

**成果の発展と活用：**たとえば、終了後直ちにSORST「分子プログラミングによる電子ナノ空間の創成と応用」（2005–2010）が実施され、本ERATO事業の成果を継承発展させた新たな成果を挙げた。ERATOプロジェクトでは、ナノ空間の構築（構築）、リアクター、光・エレクトロニクス（光・電子）の3グループを組織し、構築では種々の新規機能性 dendrimer、リアクターではポルフィリンとペプチドを基盤とする反応空間、光・電子ではカーボンナノチューブ（CNB）などの超分子や自己組織体などを中心に研究が展開された。これらのうち、構築での光捕集 dendrimer、光・電子でのバッキーゲル（CNB・イオン液体複合体）と超分子グラファイトが特に注目される。これらの成果は、SORSTにおいてさらに継承・発展が進み、たとえば dendrimer からはアクアマテリアル（粘土・水とのゲル）、バッキーゲルからは電場応答材料（アクチュエーター、フレキシブルエレクトロニクス材料）、超分子グラファイトからはナノチューブ太陽電池が創出されている。

**成果の効用と波及：**数千回におよぶ論文引用総数と他研究者による多数の関連論文に端的に示されるように、本ERATOプロジェクトの成果に触発されて、有機化学から物理化学、材料科学、生物学、医学など広い分野での関連研究が世界的に起こった。とりわけ、光捕集 dendrimer が光化学や物理化学、バッキーゲルが電子情報材料科学のように、本プロジェクトは予想を超えた興味ある機能や現象を周辺異分野に提示し、それらの分野の研究に新たな流れを生み出しつつある点は注目に値する。

また、純粋な科学的興味に端を発したかに見える成果が、ナノチューブ太陽電池やアクアマテリアルなど、産業界において応用研究が急速に進展しつつある点も重要である。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

## 研究の継続状況

ERATO「相田ナノ空間」プロジェクトは、有機から無機まで広い視野から新たなナノ空間の構築と機能創出を目的とし、ナノ空間の「構築」、「リアクター」、「光・エレクトロニクス（電子）」の3グループを構成して、下記のような研究が展開された：

- (A) 構築： 車輪状、水溶性など各種の機能性 dendrimer の設計と合成及び機能創出  
(例) 光捕集と光子伝達、アンテナ効果による多光子励起と化学反応制御など
  - (B) リアクター： オリゴペプチドとポルフィリン骨格を基盤とする環状反応空間の創出  
(例) 不斉空間の構築と不正情報伝達など
  - (C) 光・電子： 超分子科学や複合化によるナノマテリアルの構築と機能創出  
(例) バッキーゲル（カーボンナノチューブとイオン液体の複合体）、超分子グラファイト（両親媒性共役分子の筒状集積体）、メゾポーラスマテリアル（多孔質構造体）など
- これらの成果は、その後 SORST プロジェクト「分子プログラミングによる電子ナノ空間の創成と応用」（2005–2010）へと継続され、たとえば ERATO プロジェクトと次のような関係をもって研究がさらに展開された（ERATO→SORST）。
- (A) 構築： dendrimer → アクアマテリアル（粘土・dendrimer系ヒドロゲル材料）  
dendrimer → DDS（精密薬物搬送システム）
  - (C) 光・電子： バッキーゲル → フレキシブル電子材料やアクチュエーター材料  
超分子グラファイト → ナノチューブ太陽電池

その他、科学研究費による研究や理学研究所における新たなグループの構築などへも、本プロジェクトの事後展開が図られている。

## 研究の活用状況

これらの例から明確なように、ERATO で培われた dendrimer の科学と合成手法、カーボンナノチューブや粘土などの不溶成分の複合化、分子設計に基づく超分子科学などは、より明確なナノ構造体への設計を意図して、SORST プロジェクトや関連研究（科学研究費など）において、きわめて有効に活用されている。

とりわけ、本プロジェクトの出身者はもとより、周辺異分野における国内外の研究者が本プロジェクトの成果に注目し、それぞれ独自の研究へと活用していることは重要である。

また、次項にもあるように、いくつかの企業が成果の応用展開を目指して、研究開発を進めている。

## 2. 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

### 2.1 科学技術の進歩への貢献

#### 科学技術上の発見

本プロジェクトは、「ナノ空間」という概念に基づいて、たとえば次のような新たな独創的な発見をもたらした：

- (1) dendrimer や両親媒性共役分子など精密に設計された分子が、特異な構造やその形状

と電子的性質によって、それ自身がナノスケールの空間あるいは超分子構造体を形成することを多数の例により明確に示した。

(2) こうして構築された空間あるいは超分子構造体が、構成分子の性質と形成した構造の特異性から、単独の分子では不可能なさまざまな機能と特性を発現することを示した。

(3) これらの構造体（オブジェクト）は、ナノチューブ、2層膜、円柱など、構成分子の設計を反映した、時に美しく多様で特異的な形態を構成することを示した。

論文は、期間内にも事後にもそれぞれ 80 報以上が、高いインパクトファクターをもつ一流誌に多数掲載され、その引用回数は、期間内に 3 千回以上、事後も 2 千回に迫り、年ごとに増加している。編集者による注目論文に選定され、また学術誌に表紙に掲載された論文も少なくない。このように、本プロジェクトの成果は事後においても注目を集めている。

以上から、これらの成果と発見は、最初であると共に、その質の高さと内容の堅実さなどからも、事後においても世界のトップレベルにあるといえる。

### 科学上の波及効果

これらの成果は、化学や材料科学などの直接的に関係する分野でも注目をあつめたが、同時に、報告された構造体の美しさ（超分子グラファイトなど）や機能（光捕集と光による化学反応制御など）の予想を超える新規性から、従来は超分子に関心のなかった関連分野で、学術と技術の境界を越えて、多くの研究者の注目と興味を集め、多くの関連研究を生み出した。

（例） 光捕集→光物理学・物理化学；イオン液体・バッキーゲル → 無機化学；

超分子グラファイト → 電子・電気・エネルギー学； dendrimer → 医学・薬学

また、アクアマテリアルは、種々の性質が注目されるが、たとえば、その切断後の再癒着などから、自己修復型材料への関心を高めている。

これらは、多数の論文引用（数千回以上）と共に、他の研究者による多数の関連研究論文からも明確であり、超分子機能科学、超分子材料学とも言える新たな潮流を生み出した点は、とくに重要である。

## 2.2 応用に向けての発展

プロジェクトを通じ、またその直後から、成果として報告されたさまざまな dendrimer 一分子や超分子構造体とそれらの機能は、学術のみならず産業においても多大な興味を集め、応用展開が進みつつある。本プロジェクトとして出願された特許も多数にのぼる。

応用展開の詳細は、知的情報の管理もあって必ずしも明確ではないが、次のような例が注目される。

ナノチューブ太陽電池（←超分子グラファイト）

点字表示デバイス・アクチュエーター（←バッキーゲル）

消火剤、化粧品、医用材料（←アクアマテリアル）

次世代ドラッグデリバリーシステム (DDS) (←デンドリマー)

これらからも、本プロジェクトの事後における技術へのインパクトや波及効果は顕著であると評価される。

### 2.3 参加研究者の活動状況

本プロジェクトに採用された人材は、その後、多数が産学において採用され、新たな研究を展開しつつある。これらの研究は、本プロジェクトの背景が明確なものも少なくないが、いずれ時を経て、これに基盤を置きつつ、それぞれ独自の分野へと展開されることが期待される。

たとえば、本プロジェクトの3グループのリーダーは、事後に下記のような職に採用され、独立し注目される研究者として、活発に研究を展開している。他の研究員についても同様である。

(A) (構築) 江東林 → 分子科学研究所・准教授; さきがけ研究採択

(B) (リアクター) 有賀克彦 → 物質材料研究機構・主任研究員; CREST 採択

(C) (光・電子) 福島孝典 → 東京工業大学資源化学研究所・教授

## 3. その他

### ERATO 研究制度の意義

我が国の大学においては、とくに実験系研究の主たる担い手は高々20名程度の大学院学生であるが、ERATO 研究制度では、原則として学生の関与は認められず、研究の主戦力は研究員(博士研究員)であり、その人数も通常30名を上回る。本委員会でも指摘があったが、このように ERATO 研究制度は、欧米の有力な研究グループに匹敵する、大規模で即戦力のあるグループでの研究を我が国ではじめて可能にしたといえよう。

このような研究では、当然のことながら、リーダーには研究における独創性と卓越した企画力に加えて、組織をまとめ、有効に機能させる指導力・マネジメント力が求められる。同時に、さまざまな背景で時限採用される研究員の人選もきわめて重要である。その意味で、相田プロジェクトは、遂行の過程で大変な苦労はあったかも知れないが、結果として、ERATO 創設時の精神を生かし、このような研究の新しい進め方に大きな成功を収めた例といえるだろう。

### 評価制度について

ERATO プロジェクトでは、中間評価、事後評価、そして今回の追跡評価と、最低で3回の評価を受ける。各過程で、プロジェクトでは、実績の総括、報告書の作成、委員への説明とヒヤリングなど、少なからぬ時間と労力を費やすことになる。これらの各段階での評価制度は、とくに ERATO 制度のように、単一の研究代表者に多額の公的資金を授与することから、ある意味で必要ではあろうが、少なくとも「失敗をいとわぬ新課題への挑戦」

を旨とする ERATO においては、もう少し「リーダーに任せる」姿勢があってもよいと思われる。その意味で、評価の回数と規模（書類の量）の軽減を考慮すべきだろう。