

ERATO「八島超構造らせん高分子プロジェクト」追跡評価報告書

総合所見

八島超構造らせん高分子プロジェクトは、らせん高分子の「合成」、「構造および動態の解析」と「機能発現」という3つの研究の軸をもとに、生命機能にも必須である「らせんの本質」に迫ることを足がかりに、二重らせん高分子を人工的に作製し、かつその指導原理を示すとともに、らせん高分子の絶対巻き方向やらせんピッチ長、高分子単分子鎖の分子運動の可視化、ならびにドーパントによるらせん構造の誘起等、将来の分子性材料創成へと繋がる道の端緒となる研究を切り拓き、世界的に見ても極めて高い成果を上げた。その結果、中間評価(2006年)では秀(Excellent)、事後評価(2008年)でもA⁺と高い評価を受けている。本プロジェクト終了後は、科研費・基盤(S)「二重ラセン構造制御を基盤とする新規物性・機能の開拓」(2008年～2013年)に発展的に引き継がれ、二重らせん形成の機構の全貌の解明、DNA同様の完璧な鎖長およびシーケンス(配列)認識・テンプレート合成を世界に先駆けて達成するとともに、伸縮自在の分子バネの創出、原子間力顕微鏡(AFM)によるらせん集合体の構造決定など、世界のらせん研究の流れを作る独創的な研究成果を継続して生みだしている。また、らせん高分子による実用的な光学分割材料や不斉有機触媒の開発にも成功するなど、応用面についても著しい進展が見られる。

2002年以降に発表された論文の被引用回数は数千回を越え、2006～2011年の期間を対象にしたトムソン・ロイターの日本人科学者が最も影響を与えた10の先端研究分野の一つとして八島教授の「らせん高分子」が2007年に続き、同一分野としては初めて連続で選出されたことは、プロジェクト終了後の絶大なる波及効果のあらわれと高く評価できる。

一方、八島教授の活躍もさることながら、本プロジェクトで成果をあげたグループリーダーや多くの若手研究員らがプロジェクト終了後、他大学の教授や准教授、助教のポジションを得て、科研費を含む多くの競争的資金(21件)を獲得し、独自の分野で活躍していることは、人材育成の面からも本プロジェクトの成果として高く評価できる。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本プロジェクトでの特筆すべき成果として、(1)高分子へのらせん誘起と記憶を基盤技術に用いたらせん高分子の創製と機能創出、(2)らせん構造のAFMによる直接観察手法の開発、(3)二重らせん構造の制御と特異な機能の創出などがあげられる。プロジェクト終了後は、八島教授らによる科研費・基盤(S)「二重ラセン構造制御を基盤とする新規物性・機能の開拓」(2008年～2013年)に発展的に引き継がれ、本プロジェクトの研究員らとの共同研究も継続され、以下に示すさらなる発展を遂げている。(1)らせん構造の複製、水溶性らせん高分子を鋳型に用いたキラリティの転写、らせん構造を付与した汎用高分子であるアクリル樹脂(st-PMMA)を用いた高次フラーレンの光学分割、メモリーデバイスへの応用等を実現した。また、(2)AFMによるらせん構造の可視化技術は、らせん構造の巻き方向やピッチを決定する一般性の高い手法となりうることが明確に示され、高分子だけでなく非共有結合で結ばれたらせん集合体のらせん構造の決定にも利用された。本プ

プロジェクトのグループリーダーであった熊木博士は、山形大学教授として赴任後、科研費・基盤研究(B)や新学術領域「表面微細加工とナノグラフト層形成によるソフトインターフェースの精密設計」の計画研究において、ERATOでのAFMによる高分子鎖、2次元結晶の直接観察の成果をさらに発展させ、PMMAの多重らせんステレオコンプレックスの形成メカニズムの解明や新規高分子超分子の微細構造の決定など、独自の研究を展開している。(3)二重らせん形成の機構の全貌の解明、伸縮自在の分子バネの創出、不斉情報の遠隔操作を可能にするらせん集合体の構築など、世界のらせん研究の流れを作る独創的な研究成果を継続的に生みだしている。また、らせん高分子による実用的な光学分割材料や不斉有機触媒の開発にも成功するなど、応用面についても進展が見られ、本プロジェクトの成果は着実かつ発展的に継続されていると言える。

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・効用及び波及効果

2.1 科学技術の進歩への貢献

本プロジェクトは、生命機能に必須である「らせんの本質」の理解とその指導原理を活用した新たな人工らせん高分子・超分子の合成と構造解明、その結果可能となる機能の発現を分野横断的かつ総合的に推進し、他分野からも注目され続ける研究成果を発信してきた。既存の構造・手法の延長や単なる修飾ではなく、ゼロからの出発を基本に究極のらせん高分子(一重らせん)の精密合成から相補性の鎖からなる一方向巻きの二重らせん分子の合成、これを基本骨格とする相補性二重らせんポリマーの合成、水中で二重らせん構造を形成するオリゴマーの合成、さらに相補性二重らせん分子からなる情報機能を有する不斉触媒の創製、らせん高分子やそのらせん集合体に至るまでの各階層を構築しうる方法論の開発やAFMを用いたらせん高分子の直接観察手法の開発、汎用高分子へのらせん構造の付与・超構造らせんの創製、生体高分子を用いた機能性材料の創製、DNA-タンパク質複合体の超構造らせん形成ならびにその動作原理を活用した金属ナノワイヤーやDNAマイクロアレイの構築等、合成と構造、機能開発に至るまで、多くの卓越した成果、新たな発見、発明を挙げてきている。これらは既に述べたように、「世界のらせん高分子の流れをつくる」研究成果であると言える。実際、本プロジェクトおよびそれ以降の研究で開拓・開発した手法が礎となり、多くの類似のらせん分子や超分子・高分子、二重鎖からなる超分子の合成が行われるとともに、らせん構造の決定にAFMを用いた直接観察が頻繁に利用されるようになっていく。

プロジェクト期間内およびそれ以降に掲載された論文は八島教授のものだけで、2003年以降170報以上に達し、その引用回数は数千回近くにもものぼり、年を追うごとに増加している。国際誌の表紙に掲載された論文や注目論文としてハイライトされた論文も少なくなく、本プロジェクトの成果は、新たなサイエンスの潮流を開拓し、基礎研究として科学技術の進歩に多大なる貢献をし、事後においても世界のトップレベルにあると言える。八島教授の研究の他分野への波及効果と貢献は、国内外の数々の受賞・栄誉、招待講演にとどまらず、2007年に引き続き、同一分野としては初めて「トムソン・リサーチフロント2012」にらせん高分子が選出されたことから明らかである。

2.2 応用に向けての発展

5年間のプロジェクトおよびそれ以降に得られた成果は、学術的のみならず産業・社会面においても多くの興味を集め、応用に向けての展開も着実に進展している。汎用高分子であるシンジオタクチックタクチックポリメチルメタクリ酸メチル(st-PMMA)へのらせん構造の付与と記憶、フラーレンの包接や半世紀以上の長きにわたって構造が不明であったPMMAステレオコンプレックスの構造解明と不斉合成の成功は、当初より大きなインパクトがあった。本成果はプロジェクト終了後、材料創成に向けて展開され、らせん構造を有するst-PMMAが高次フラーレンの光学分割に有効であるとともに、フラーレンを包接したst-PMMA薄膜が、ITO-金電極からなるサンドウィッチ型のデバイスとして揮発性のWORM(write once, read many times)メモリ効果を示すことを見出している。st-PMMAのらせん空孔内へのフラーレン以外の有機分子の包接の発見とあわせ、st-PMMAが将来有望な機能性材料として利用できることを明らかにしている。PMMAステレオコンプレックスが既に人工透析用の中空糸として実用化されている事実に鑑み、光学活性ステレオコンプレックスのキラル高分子材料としての応用に向けた検討は、今後推進すべき重要課題と言えるであろう。

不斉触媒活性のある合成二重らせんは、伸縮自在の分子バネの創成へと展開された。物理的な刺激応答性の付与とあわせて、将来の化学エネルギーの運動エネルギーへの変換材料としての応用に繋がる可能性がある。人工らせん高分子については、天然由来の光学活性分子を側鎖に有する簡便ならせん高分子の合成法が開拓され、高い光学分割能と不斉有機触媒能の両方を兼ね備えたキラル材料の創成に繋がっている。事後評価で評価委員が提言した「応用展開へ向けての強い方向性」が実例をもって示されていることは評価に値する。今後さらに、らせんならではの応用展開、実用化に向けた一層の研究加速に期待したい。新たな材料の開発が革新的な機能の創出に繋がることは衆知の通りであるが、そのためには、物理や物性、バイオ等国内外の他分野の研究者・技術者らとの共同研究が必要でありその推進を希望する。

2.3 参加研究者の活動状況

本プロジェクトに参画したグループリーダーや他の多くの研究員らは、プロジェクト終了後、他大学の教員や企業などで職を得て現在も活躍している。大学に限って言えば、教授3名、准教授5名(特任2名を含む)、特任講師2名、助教3名が本プロジェクトでの成果を糧に、その後、科研費を含む多くの競争的資金(21件)を獲得して独自の分野で研究を続け、現在の地位を得ていることは特筆に値する。この内、2名は民間企業からの参画者であり、研究者人材育成のみならず、キャリアアップという観点からも、本プロジェクトの果たした貢献は非常に大きいと言える。

3. その他

本プロジェクトでは、合成化学、物理化学、生物化学などの異なった分野の研究者が結集して、八島教授の「らせんを極める」という単純明快な理念と手腕のもと、互いの研究を理解し、有機

的に連携し、結果として、自らの分野だけでは為し得ない独自性の高い優れた成果を上げたと評価できる。一方で、我が国では依然として学問分野の壁が互いの融合を隔てている面もあり、総合的な研究風土が必ずしも十分に確立されてはいないと感じる。このことが独創性の高い優れた研究を多数産み出すことへの障害となっており、分野融合が必要であると言われながらも、実行できる体制はまだ十分ではない。ERATO はこの課題を克服しうる数少ない研究制度であり、今後も継続していくべきと考える。

しかし、今回の追跡評価で明らかなように、5年間の ERATO 終了後の成果にも目を見張るものがあり、こういった成果を産業界に活かし応用へ向けて迅速に展開していくためにも、5年間の ERATO 終了後は適切かつ厳密な評価を行い、特筆すべき研究については、我が国の独創的な科学技術研究をより一層強化し、イノベーションに繋げるという長期戦略に基づき、期間延長或いは継続可能な道を予算措置を含め用意すべきである。一方、2.2 項で提言したように、応用展開、実用化に向けての一層の研究加速には、専門を異にする研究者や産業界の技術者らとの共同研究が不可欠であるが、そのために必要な膨大な量の材料提供がその実現を拒んでいる一面もあると感じる。日本発、世界初の研究成果をイノベーションに迅速に繋げるためにも、もの作りに特化した戦略的な支援も必要であろう。

以 上