

さきがけ研究領域「構造制御と機能」

追跡評価報告書

総合所見

本研究領域「構造制御と機能」は、ナノ構造を原子や分子のレベルで構築（ビルドアップ）することによって発現する機能に注目したもので、生体系物質だけでなく、無機系や合成有機系物質を利用して精密に設計し、制御された構造体を形成させることを目的としたものであった。最先端のテクノロジーを駆使した研究を行い、ビルトアップ型（ボトムアップ型）のアプローチにより、さまざまな「ナノ構造体」を構築し、それらのナノ構造体を用いて新たな物質変換方法や、新たな効率の良いエネルギー変換方法を見出す研究内容であった。

研究領域終了後も、研究成果に関する研究論文が海外の学会誌や有力雑誌に継続的に掲載されており、Nature 系の雑誌や Science 誌などに掲載されている例も少なくない。このことから研究が継続して進展していると判断される。また、研究領域期間中から領域終了後の今日に至るまで国内外を問わず継続的に特許出願がなされている他、ベンチャー企業の設立もなされるなど、イノベーション創出へ向けた確かな動きが認められる。

さらに、領域終了後殆どの研究者がキャリアアップして後継の研究にチャレンジすると共に、日本化学会進歩賞、科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞などの賞を受賞するなど、本研究領域は卓越した研究者を多く輩出した。

本研究領域は、基礎研究から、開発研究、そして応用研究へと繋がっており、大きな成果を上げている。例えば、独自の触媒を駆使した液相からの新奇ナノカーボン群の精密合成、ナノスペーシングを利活用した新しい高分子材料の創製、ナノギャップ電極間のトンネル電流を検出することによる高速 DNA シークエンサーの開発等があげられ、研究領域全体のレベルの高さを表している。

以上より、産業化へのイノベーション創出への脈動、技術レベルの向上と波及性、研究者のキャリアアップの状況などから、本研究領域は終了後も高い成果をあげていると評価できる。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域では 2005 年から 2007 年にわたって、37 件の研究課題を採択し、「分子構造制御と機能」に関する研究が行われた。

その後、それらの研究の多くはさらに後継の大型プロジェクトに採択され、研究を発展させている。例えば、内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」(NEXT) 第 1 期に 4 名、第 2 期に 2 名採択されている。グリーンイノベーションとして、伊丹健一郎は「芳香環連結化学のブレークスルー」、芹澤武は「セルロース・マイクロフィブリル(CMF)」の革新機能の開拓とイノベーションの創出に努めている。吉沢道人は「自己組織化を活用した

機能素子の創製」、井上将行はライフサイエンスとして「イオンチャンネル作用分子・機能分子の全合成と新機能開拓」にそれぞれ取り組んでいる。また、ERATO、CREST、ACT-C に、4 名が採択されている。

研究領域終了後も学会発表や論文、特許、受賞、後継のプロジェクトへの貢献などにより発展が認められる。

論文発表においては、多くの国際誌への掲載だけでなく、影響力のある有力誌への掲載が際立っており、研究論文のレベルの高さがわかる。さらに発表論文の引用においても、研究者が発表した論文が世界中で多くの他の研究者に引用されている。被引用数が 100 件を超した論文も 11 報ある。研究終了後、短期間で、数十から数百もの引用がなされている場合もあり、影響力の大きさが示されている。

また、研究期間中に 44 件、研究領域終了後に 53 件と継続的に特許出願がなされていることや、ベンチャー企業が設立されていることから、産業化へ貢献していることが読み取れる。

研究者の多くは研究領域終了後もさまざまな賞を受賞している。37 名の研究者のうち、16 名が文部科学大臣表彰の若手科学者賞を受賞している。そのほかにドイツイノベーションアワードやアメリカ化学会などの国際賞も受賞している。

2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

(1) 研究成果の科学技術の進歩への貢献

伊丹は本研究領域において独自の触媒を開発し、新たな有機分子を精密有機建築化学という分野を開拓した。その後、ERATO「伊丹分子ナノカーボンプロジェクト」として発展した。さらに WPI「トランスフォーマティブ生命分子研究所」の設立へと繋がり、カーボンナノリングを用いた化学合成により、高純度のナノカーボン系材料の合成に貢献している。また、新奇なワーブド・ナノグラフェンの合成にも成功し、カーボン材料の科学技術分野の発展に大きく寄与した。

植村卓史は多孔質金属錯体空間を用いて、新たな高分子の合成を行った。これまでの通常の均一系での重合法では、高分子鎖が絡み合ったランダムな構造をした生成物しかできなかったが、多孔質金属錯体のナノ空間を用いることにより、高分子鎖が絡み合うことなく、一次元のポリマー鎖を引き延ばした形で形成させることに成功し、さらに複数の高分子が相分離することなく、分子レベルで混合できる方法を見出した。この方法により、これまで得ることができなかったような強度の高いポリマー材料を得ることができる可能性が広がり、従来より選択性が高く、再利用できる二酸化炭素のセンサーを開発しており、今後応用での展開が期待されている。

これまで DNA の配列の決定は DNA を増幅してから、電気泳動などを用いた塩基配列決定装置により決定されていたが、谷口正輝はナノギャップ電極とマイクロ流路を融合させた独自のゲーティングナノポア電極を作製、トンネル電流の測定により、塩基配列を直接

決定する方法を開発した。この方法では DNA を増幅する必要がなく、少量で短時間にその配列を決定することができる。

そのほか、小林健二は「ヘテロ原子間相互作用に基づく分子集合」に注目した研究、芹澤は「ポリマー結合ペプチドのビルドアップ」によりバイオイメージング材料への展開、前田大光は「アニオン応答性組織構造」を創製し、センシング材料への展開を図っている。

研究者の研究はその後、Nature 系列や Science、Angew. Chem. Int. Ed. 等様々な国際的な学会誌や雑誌に掲載されている。さらにそれらの論文は多くの他の研究者に引用されており、影響力の大きさを示している。

(2) 研究成果の応用に向けての発展状況

本研究領域は「構造制御と機能」ということで、ナノメートルサイズの構造の制御により新たな機能を創出しようというものである。ナノメートルサイズの構造の制御による新たな機能の創出はナノテクノロジーにおいて世界中で取り組まれている分野であり、世界的な競争が激しく、我が国が他の国に先んじてこの分野を制していくことは極めて重要である。本研究領域の中で、世界に先駆けて応用に繋がる可能性のある研究がいくつかある。

伊丹による「植物の成長を飛躍的に促進させる分子」、「動物の生産性を著しく向上させる分子」、「低環境負荷かつ稀少遷移金属に頼らない触媒」、そして「効率的なペプチドライゲーションを実現し、タンパク質合成を加速する触媒」等の開発は、大きな経済効果を生み出す可能性がある。

植村の多孔質金属錯体は、大量に安価に生産される物質であり、上述の新たな高分子合成やセンサーに役立つだけでなく、触媒反応場などに大量に使用できる可能性がある物質である。

谷口の DNA の塩基配列の決定方法は、すでに大学発のベンチャー企業を立ち上げ、世界的な展開を図っている。すでに投資会社から事業推進のために資金を得ている。

吉田亮は自励振動高分子を開発し、心臓のように自発的に周期的リズム運動を行う新しいシステムの開発を行っている。これはアクチュエータ、自動物質輸送システムや自立駆動型機能材料やマイクロ・ナノマシンへの応用展開が可能と考えられる。

そのほか、斎藤健一、伊藤(鎌田)香織、中西尚志、山内美穂らは、研究領域終了後も等しく着実な特許出願を行っている。

また社会・経済への波及効果については、新規触媒の開発はもちろん、ガスの選択的吸着を利用したセンサーや貯蔵材料、効率的なエネルギー変換を促す材料や電池材料の開発など、将来の商品開発の芽となり得る重要な研究成果を生み出している。

これらは単なる基礎研究にとどまらず、さらなる応用も視野に入れた幅広い研究に繋がっていると思われる。

(3) その他の特筆すべき波及効果

①当初想定されていなかった新たな展開

伊丹の研究は当初、カーボンマテリアルの逐次合成から始まっているが、この合成反応の過程で導かれた知見を触媒反応に拡張し、さらに生理活性物質の合成にまで利用範囲を拡大した。植村の多孔質金属錯体の合成とその利用に関しては、当初は高分子合成等に利用していたが、さらにセンサーの開発や触媒反応場としての利用に展開した。

②科学技術イノベーション創出への貢献

谷口は DNA の塩基配列の決定の研究ということで、当初は基礎研究であったが、実際に DNA の配列の決定を実現した。またこの 1 分子シーケンサー技術を応用して修飾アミノ酸配列の解析も実証しており、遺伝情報に基づく早期がん診断、個人に適合した創薬をはじめ、早くて正確なウイルス検査や農作物の改良などの幅広い分野を革新するとして期待されている。

③人材のキャリアアップ

本研究領域の研究者に関しては、その後キャリアアップしている研究者が数多く、伊丹や谷口は教授に昇進し、植村は准教授に昇進している。また、平岡秀一、村田靖次郎、村橋哲郎、上野隆史、羽村季之らはいずれも、助手・助教(採択時)から教授に昇進しており、卓越した研究者が数多く輩出されている。

④新しい分野の融合

伊丹は炭素-炭素結合の形成を骨格とする化学合成を生理活性物質の開発に繋げている。これは化学と生物学の分野の融合であり、物質化学と生命科学との融合ともいえる画期的な取り組みであり、特筆に値する。

⑤国内外の研究者とのネットワーク形成状況

伊丹は名古屋大学に設置された WPI トランスフォーメティブ生命分子研究所(ITbM)の拠点長として、11 の研究グループのうち 4 グループについて外国の主任研究者と共同研究を行っている。スイス連邦工科大学チューリッヒ校とクイーンズ大学とはそれぞれ、生理化学と合成化学の分野で、ワシントン大学とは植物科学の分野で、南カリフォルニア大学とは動物科学の分野でそれぞれ連携して共同研究を推進している。

植村は、ミラノ・ビコッカ大学と共同研究を実施しており、植村の研究室で合成した新規物質などをビコッカ大学では NMR などにより分析し解析している。

3. その他

本さきがけ研究領域は極めて高い水準で、研究成果も非常に大きい。本研究領域の研究成果をさらに真の意味で社会貢献に繋げることが重要であろう。そのためには研究者自身が産業界とも連携して、社会で何が望まれているか、世界がどのような方向に向かうかを十分に認識し、明示することが肝要である。また研究成果が将来のために必然のものであるかどうかを見極める必要もある。次の世代がその意義を感じ取り、さらに推進できる体

制作が必要であろう。

また、若手だけでなく、経験のある教授らを交えたジェネレーションを超えた相互交流を通じて融合させることも重要である。

前述の「国内外の研究者とのネットワーク形成状況」に関して、共同研究は容易なことではないが、お互いが相補的な関係にあれば、互いの研究を補うことによってより進展すると思われる。海外との共同研究はさらに困難なことも想定されるが、今後さらに広がると思われることから、研究者がさらに挑戦的な研究テーマに取り組むよう期待したい。