

井上學術賞授賞理由

2023年12月

公益財団法人井上科学振興財団

第40回（2023年度）井上学術賞

研究題目

錯体ナノ空間での高分子化学

Polymer Chemistry in Coordination Nano-Spaces

受賞者

植村 卓史（うえむら たかし） 東京大学大学院工学系研究科・教授

職歴

2002年 京都大学大学院工学研究科・助教

2010年 京都大学大学院工学研究科・准教授

2018年 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授

2021年 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻教授

受賞

2010年 日本化学会進歩賞

2013年 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞

2014年 花王研究奨励賞

2016年 日本学術振興会賞

2021年 日本化学会学術賞

授賞理由

沸石としても昔から知られているゼオライトのような多孔性固体は、ナノメートルサイズの間隙を持つ物質として、分子ふるい、吸着、触媒などの用途に利用されてきた。多孔性固体の中で、MOF と呼ばれる多孔性金属錯体、すなわち、配位結合で組み立てられる金属と有機物からなる構造体は、ナノ細孔の大きさや形を精密に制御することが可能で、様々な官能基も導入できる空間設計性の高い多孔性材料として、近年爆発的に発展してきた。

植村卓史氏は、多孔性金属錯体のナノ空間の中で、はじめて高分子を合成することに成功し、以来、ナノ空間を生かした高分子の精密合成、集積制御、精密分離など、高分子化学の新たな手法を打ち立てた。例えば、MOF の一次元細孔中で、ベンゼン環が数十個以上繋がったポリアセンの合成に初めて成功した。グラフェンがベンゼン環の連なった二次元シートであるのに対し、ポリアセンはベ

ンゼン環の一次元リボン構造であり、特異な電子物性が予想されている物質として注目されている。また、植村氏は、高分子鎖が MOF のサブナノ空間内に効果的に侵入することを明らかにし、そのような MOF 細孔の特性を利用して、高分子の精密分離の新たな方法論を開拓した。例えば、MOF を充填した分離システムでは、末端を修飾したポリエチレングリコールの高分子鎖中における原子 1 個程度の違いを区別する認識能があることを示した。これは、従来の分子認識のレベルをはるかに凌駕する精巧さで分離ができることを実証するものである。

このように、植村氏は独創性の高い研究成果を次々と挙げ、世界中に研究者人口が多く、競争も激しい分野の中にあって、常に世界をリードし続けている。優れた成果に基づいて、錯体化学と高分子化学を融合した独創的な研究領域、「サブナノ空間を利用した精密高分子化学」を確立しつつあり、今後ますますの活躍が期待される。以上のことから、井上学術賞の受賞者にふさわしいと判断された。

第40回（2023年度）井上学術賞

研究題目

組織構築過程における集団細胞移動の作動原理の解明

Mechanical perspective of collective cell movement during morphogenesis

受賞者

倉永 英里奈（くらなが えりな）東北大学大学院生命科学研究科・教授

職歴

2004年 東京大学大学院薬学系研究科・助手

2006年 東京大学大学院薬学系研究科・講師

2011年 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター チームリーダー

2016年 東北大学大学院生命科学研究科・教授

2023年 京都大学大学院薬学研究科・教授

受賞

2019年 日本学術振興会賞

2018年 アステラス病態代謝研究会最優秀理事長賞

2010年 日本分子生物学会三菱化学奨励賞

2006年 井上研究奨励賞

授賞理由

集団細胞移動は、初期胚の原腸陥入や血管形成、乳腺分岐の形成など発生過程において重要な役割を示す一方で、上皮性がんやメラノーマなどの浸潤や転移の過程においても観察され、生命活動の様々な局面に関与している。しかしながら、その生体内動態は解析が容易でなく、個体という細胞社会の中で整然と制御される集団細胞移動のメカニズムは多くが明らかでなかった。

倉永英里奈氏は、発生過程に関与する細胞死の研究を行う過程で、細胞死シグナルを抑制した個体で見られた「ショウジョウバエ雄性外生殖器の蛹期における回転形成」の異常に注目し、雄性外生殖器を取り囲む上皮組織における細胞集団移動により、この回転が成し遂げられることを見出した。倉永氏はこの集団細胞移動を移動開始から停止まで、生体組織のまま観察・解析するライブイメージングの手法を確立し、組織形成を成し遂げる細胞移動の制御メカニズム解

明に挑戦した。

倉永氏は、移動する上皮細胞集団の頂端面に左右非対称な平面極性があることを見出し、それに準ずる細胞接着面のつなぎ替えによって接着性を保った細胞移動が成し遂げられることを、実験・計測・理論を組み合わせた研究により明らかにした。さらに倉永氏は、このユニークな生命現象をモデルとして研究することによって、集団細胞移動の新しい制御メカニズムを次々に解明している。本研究の成果は、これまで非自明であった上皮細胞集団がバリア機能を維持したまま移動するメカニズムを世界に先駆けて明らかにしたこと、さらに数理と実験の互いの利点を活かした次世代の生物学研究であることが評価され、発生過程における上皮組織変形のメカニズムの解明に貢献した。

以上のように倉永氏は、集団細胞移動メカニズムの解明を、生体組織におけるライブイメージングと遺伝学、数理モデルを駆使したアプローチで追求し、多くの成果をあげてきた研究者である。このような背景を鑑みて、倉永氏は井上学術賞の受賞者としてふさわしいと判断される。

第40回（2023年度）井上学術賞

研究題目

太陽系における生命生存可能環境の発見、およびその形成要因の解明

Discovery of habitable environments in the Solar System and understanding of their formation mechanisms

受賞者

関根 康人（せきね やすひと） 東京工業大学地球生命研究所・所長/教授

職歴

2006年 東京大学大学院理学系研究科・特任助手

2007年 東京大学大学院新領域創成科学研究科・助教

2011年 東京大学大学院新領域創成科学研究科・講師

2014年 東京大学大学院理学系研究科・准教授

2018年 東京工業大学地球生命研究所・教授

2022年 東京工業大学地球生命研究所・所長を兼務

受賞

2009年 日本惑星科学会最優秀研究者賞

2012年 地球化学研究会奨励賞

2016年 文部科学省表彰若手研究者賞

2022年 日本学術振興会賞

授賞理由

私たちの太陽系において、地球以外にも生命が存在するのか、あるいは過去に存在したのかを明らかにすることは、21世紀の天文学・惑星科学・アストロバイオロジー分野における最大の科学目標のひとつである。

関根康人氏は、これまで物理学的手法が中心だった惑星科学に、水-鉱物反応や触媒化学、燃焼化学など化学分野の知見や手法を導入し、太陽系天体において生起する化学反応や物質循環の議論を通じて、生命の起源や地球外生命探査につながる独創的で画期的な研究を展開してきた。

関根氏の代表的な研究成果は、土星の衛星エンセラダスという氷天体の地下

海環境を実験的に明らかにしたことである。NASA の土星探査機カッシーニは、エンセラダス南極付近から宇宙空間に放出されているプルーム物質を分析し、そのなかにナノシリカが含まれているという結果を得た。関根氏は、独自の超臨界反応装置を用いてエンセラダス内部に存在する地下海の再現実験を行い、ナノシリカが生成するためには海水と岩石が 90℃を超える高温で反応する必要があることを明らかにした。すなわち、地球生命誕生の場として最有力候補となっている海底熱水噴出口が、地球外にも存在していることを発見したのである。また、エンセラダスの地下海には生命活動に必須なリン酸が高濃度で濃集していることなども明らかにしている。

このほかにも関根氏は、初期太陽系の巨大ガス惑星の大移動がもたらした天体衝突頻度の増加によって冥王星などの氷天体の地下海や大気が形成されたこと、地球や火星において過去に生じた気候変動が表層環境の酸化をもたらす引き金となったことなど、多様な研究成果をあげている。

関根氏は、太陽系における生命生存可能環境の解明に重要な学術的貢献をされてきたことに加え、いくつもの国際太陽系探査計画で主要な役割を担うなどの際立った活躍をされており、井上学術賞の受賞者としてふさわしいと判断された。

第40回（2023年度）井上学術賞

研究題目

多様な CRISPR-Cas 酵素の作動機構の解明および技術開発

Structural elucidation and molecular engineering of diverse CRISPR-Cas enzymes

受賞者

西増弘志（にします ひろし） 東京大学先端科学技術研究センター・教授

職歴

2008 年 東京大学医科学研究所・助教

2010 年 東京大学大学院理学系研究科・特任助教

2013 年 同 助教

2019 年 東京大学大学院理学系研究科・准教授

2020 年 東京大学先端科学技術研究センター・教授

2021 年 東京大学大学院工学系研究科・教授（兼任）

受賞

2012 年 日本蛋白質科学会若手奨励賞

2014 年 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、日本生化学会奨励賞、日本結晶学会進歩賞、SPRUC 2014 Young Scientist Award

2017 年 科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞、日本医療研究開発大賞 AMED 理事長賞、京都 SMI 中辻賞

2018 年 市村学術賞功績賞、島津奨励賞

2019 年 日本学士院学術奨励賞、日本学術振興会賞

授賞理由

CRISPR-Cas システムは、外来の DNA を排除する原核生物の感染防御システム（獲得免疫機構）として機能している。ゲノムに CRISPR として外来 DNA 情報を記憶し、そこにコードされたガイド RNA の配列と相同な DNA 配列を正確に切断することで、外来の DNA を除去する。Cas はガイド RNA の配列に依存して DNA を切断する酵素である。CRISPR-Cas は、任意の RNA 配列をガイド RNA としてゲノムの特定領域を切断することができる。この CRISPR-Cas によるゲノム編集のツールとしての有用性が認められ、2020 年に Charpentier と Doudna がノーベル化

学賞を受賞した。

西増弘志氏は、Cas9、Cas12、Cas13 といった多様な CRISPR-Cas 酵素の立体構造を決定し、それらの作動機構を解明してきた。特に、2014 年、西増氏は、ゲノム編集に広く利用されている *S. pyogenes* 由来 Cas9 (SpCas9) に関して、SpCas9-ガイド RNA-標的 DNA 複合体の結晶構造を決定し、Cas9 による RNA 依存性 DNA 切断機構を世界に先駆けて解明した。この研究成果は CRISPR-Cas9 の基礎・応用研究の基盤として世界的に極めて高く評価されており、様々な Cas9 改変体の開発基盤としても広く利用されてきた。SpCas9 に加え、異なる細菌に由来する様々な Cas9、Cas12、および Cas13 の結晶構造を決定し、CRISPR-Cas 酵素の多様性を原子レベルで解明してきた。さらに、明らかにした立体構造を基に Cas9-ガイド RNA 複合体を分子改変することにより、新規の転写活性化ツールや適応範囲の拡張したゲノム編集ツールを開発し、ゲノム編集技術の高度化に大きく貢献してきた。2020 年に東京大学先端科学技術研究センターにおいて独立してからも、新規の CRISPR-Cas 酵素複合体 Cas7-11-Csx29 などの構造機能解析を推進してきた。Cas7-11-Csx29 複合体は、RNA 依存性 RNA 切断活性およびタンパク質分解活性という 2 つの活性をもつ前例のない酵素複合体であることを明らかにし、原核生物のもつ新規の獲得免疫機構を提唱した。これらの西増氏の業績は世界的にも屈指であり、CRISPR-Cas システムの遺伝子治療への応用などへの発展のためには不可欠な貢献である。

以上の理由により、西増氏は、井上学術賞の受賞者として相応しいと判断した。

第40回（2023年度）井上学術賞

研究題目

湾曲を生み出す自己組織化の研究

Self-Organization to Generate Curvature

受賞者

矢貝 史樹（やがい しき）千葉大学大学院工学研究院・教授

職歴

2002年 千葉大学工学部物質工学科・助手

2010年 千葉大学大学院工学研究科・准教授

2017年 千葉大学グローバルプロモット研究基幹・教授

2021年 東京大学・客員教授

2022年 千葉大学国際高等研究基幹・教授

受賞

2009年 光化学協会奨励賞

2011年 日本化学会進歩賞

2011年 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞

2012年 千葉大学先進科学賞

2012年 花王研究奨励賞

2014年 Lectureship Award from coordinator of Taiwan 9th ICCEOCA

2016年 コニカミノルタ画像科学奨励賞 優秀賞

2017年 Swiss Chemical Society Lectureships Award

2018年 長瀬研究振興賞

2020年 日本学術振興会賞

2022年 日本化学会学術賞

授賞理由

核酸やタンパク質などの生体高分子の自己組織化は、生命現象を制御する重要な現象である。一方、人工分子の自己組織化においても、モノマー分子の精密な配列・集積によってナノメートルレベルの大きさの構造(ナノ構造)の制御が可能になってきている。しかし、多くのモノマー分子は直線状構造を持っている

ため、線・面・多面体がナノ構造として組み上がることがほとんどであった。これに対し矢貝史樹氏は、安定な規定された曲率を生み出しながら自己組織化する分子群を開発し、この曲率を利用して数々の未踏ナノ構造を構築するとともに、それらの特異な性質を明らかにしてきた。

矢貝氏は、湾曲という単純な原理を自己組織化現象と融合することで、4つの特性を明らかにしてきた。すなわち、(1)リング・ラセン・ランダムコイル等の多様な高次構造を自在に作り分け、動的に変化させることができること、(2)異なるモノマー分子により新たなナノ構造や、モノマー配列の組み替えによる相転移を誘発できること、(3)水素結合の組み替えにより、ソフトなポリマーからハードな結晶性材料へと変換できること、(4)リングを連結し鎖状ポリマー材料であるポリカテナンを創出できることを示した。いずれの特性も、従来の超分子やポリマー材料では実現することが困難な性質であり、これらの多様な特性が一つの自己組織化システムによって実現できる物質系は他には存在しない。矢貝氏が開発した湾曲性を帯びた自己組織化材料は、分解・再生が容易な次世代ポリマーの有力候補である。これらの未踏物質は、分解性やリサイクル性に優れた超分子ポリマー研究に新たな潮流をもたらし、化学・高分子研究の潮流を大きく変え、環境と調和した科学技術の持続的発展に資する可能性がある。以上の成果は、国際的評価も高く学術への貢献が顕著であることから、井上學術賞にふさわしいと判断する。