

ノーベル物理学賞により加速する光圧の科学研究

増原 宏 (台湾・国立交通大學理學院)

Arthur Ashkin 博士が 2018 年のノーベル物理学賞に輝いた。彼は 1970 年代初期に溶液中の高分子微粒子に光圧を印加する実験を発表し、1986 年に光ピンセットのアイデアを世に問うた。光が対象物体に力を及ぼすという現象は、古くは Newton、Maxwell の時代から多くの知識人、研究者の興味の対象となってきた。19 世紀末にはロシアのレベデフが光の圧力を証明する実験に成功している。数年後には夏目漱石の知るところとなり、彼の小説「三四郎」に光の力を測る実験のくだりが書かれている。Mainman がレーザーの発振に成功する 60 年以上前のことである。そしてレーザーが発振されてから 26 年後に、光ピンセットが実現した。この歴史は、原理的な発想が実験で証明され、その技術が開発され、やがてツールとして使われるレベルに達し、さまざまな科学技術分野に広がっていく、その時間の流れを示している。

私たちのグループの話で恐縮であるが、1988 年に ERATO 増原プロジェクトが新技術開発事業団 (現 JST) の創造科学推進事業として発足し、その研究トピックスの一つがこの光ピンセットを駆使した化学の研究であった。このテーマ設定と研究展開にあたっては、プロジェクト研究員笹木敬司博士 (本新学術研究プロジェクトの事務局担当メンバー) の貢献が極めて大きかった。私たちは、光学顕微鏡に 1064 nm レーザー光を集光し、溶液中の高分子微粒子の捕捉、操作、配列、微細加工の実験研究の先鞭をつけた。また溶液中のマイクロメートルサイズの単一微粒子、単一液滴、単一結晶を一粒ずつ焦点に保持し、時間分解蛍光分光、時間分解可視吸収分光、レーザー発振、電気化学的反応、接着、光重合、パターンニングなどの研究を展開した。光ピンセットの化学研究は世界にさきがけてわが国で行われ、1993 年までのその成果は「マイクロ化学」(化学同人、1993 年) にまとめられている。Ashkin 博士は 1997 年に自らの光ピンセットの仕事を Proc. Nat'l Acad. Sci.誌に総説としてまとめているが、光ピンセットの化学研究については増原 ERATO プロジェクトが行ったとし、我々の英文成果集である「Microchemistry」(Ed. by Masuhara et al., North-Holland, 1994)を引用している。

1990 年代中ごろから光ピンセットの化学研究の対象は、単一微粒子・単一液体から溶液中のナノ粒子、高分子、生体分子、分子クラスターに移った。これらは集光レーザービームのサイズより小さいので、多数捕捉され、ポテンシャル内で集合、会合、結晶化、組織化を示す。光圧特有の相転移、析出、配列などのダイナミクスを、ナノ粒子や高分子のサイズ、構造と関連付けて分子論的に論ずることができるようになった。通常光ピンセットの実験は液中で行われてきたが、最近では溶液表面、固体・溶液の界面、液液

界面でこそ光ピンセット特有の化学現象が誘起されることが明らかになってきた。また物理化学的には、光圧に誘起される分子現象を力学計測、物理計測、分光計測しながら分子論的電子論的に解明する研究や、分子やナノ粒子が集合し構造を形成するダイナミックスを調べ材料化への展開を図る研究が盛んになっている。

石原新学術領域研究においては、このような化学研究のみならず、光物性、光学、マイクロナノテクノロジー、マイクロナノマシン、生物物理に広がる、世界的にも例を見ない包括的な光圧サイエンスを展開している。Ashkin 博士のノーベル賞決定より数年早く発足し、すでに独創的な新しい成果を次々と発表している。代表者をはじめ主要メンバーの先見の明に敬意を表したい。またこの機会に新学術研究の推進に関連して日頃思い、また今回 Ashkin さんのノーベル賞であらためて感じたことを述べさせてさせていただく。

第一に、いわゆるインパクトファクターの高い雑誌に投稿することが、各方面から求められているが、Ashkin さんの初期のオリジナルな論文は Physical Review Letters, Applied Physics Letters、光ピンセットの論文は Optics Letters の専門誌である。その後バクテリア、ビールス、細胞に応用した仕事は、Nature, Science に発表されているが、引用回数は前者の論文が数倍多い。また彼が組織的にバイオ研究を展開したわけではない。しかしノーベル賞の理由としては、「光ピンセットとその生物システムへの応用」と書かれている。この状況をしっかりと確認しておきたいと思う。

第二は、ノーベル賞に輝いた時からその研究分野に多くの研究者が集まり、そのサイエンスが圧倒的に広がるということである。私が若いころ関わった時間分解分光法の開発とそれを駆使した光化学の研究分野を見てみよう。時間分解分光におけるポンププローブ分光のアイデアもまた、レーザーが開発される 20 年くらい前に、イギリス海軍技術将校だった George Porter 教授が、海軍で無線の研究中に発想したものと聞いている。初期には限られた物理化学の専門家が手作りの装置で奮闘していたが、1967 年 George Porter 教授たちは時間分解分光を含む高速反応の研究でノーベル化学賞を受けると、時間分解で反応素過程を調べる研究は一般的に認められ急激に広がった。今では有機化学者、光合成を調べる光生物学者、太陽電池の開発技術者も使う必須の手法のひとつとなった。光圧の科学技術にとって今年の 2018 年はまさにこのような折り返し点であり、今後急激に光圧の研究と技術開発は加速すると期待される。光ピンセットの科学技術に関わる私たちにとってまことに喜ばしい追い風である。

第三は、しかし我々はそれでいいのかという意見もある。私は 1967 年の Porter 教授たちのノーベル賞受賞後の追い風のもと、ルビーレーザーを用いた時間分解の光化学、い

わゆるナノ秒化学でデビューし、若いときに小さな成功体験を持ったと感じた。しかしその延長上に、量的拡大に次のサイエンスがあるとは思わなかった。レーザーのもつポテンシャルは強く実感していたので、80年代に入る頃からレーザーを駆使した新しい分子現象の探索と解明に従事してきた。その一つが光ピンセットの化学研究で、今日のAshkinさんのノーベル賞を幸せな気持ちで迎えた。この経験から、私は本当の研究のオリジナリティーを追求する本新学術の班員は、光圧の研究をしながら Beyond Photon Pressure を夢見て努力しているのだろうと思っている。石原新学術は、Beyond Photon Pressure、Post Photon Pressure、その種も生み出すだろうと期待している。