



科学研究費補助金新学術領域研究

「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」

News Letter Vol. 3

March 20, 2017

光圧の新たな科学に期待

梶村 皓二(産業技術総合研究所 電子・光技術研究部門)

太陽光の圧力を私たちが感じることはない。春夏秋冬に変わる陽差しの心地良さと厳しさはその明るさと色と熱である。

ところで光の圧力は、惑星運動の3法則を定式化した理論天文学者 J. ケプラー (1571–1630) が、1619 年に彗星の尾の形を説明するために提案したことに始まる。屈折望遠鏡が発明されて間もないころでもあり、当時は光の圧力については何も知られていなかった。1696 年には、フランスとロシアのアカデミー会員でピョートル大帝の顧問に推挙されたオランダの天体学者 N. ハートセーカー (1656–1725) が、旅行者たちが言い張っていたとする話を残している。「東流するドナウの流れは、朝は陽の光が流れに対して逆方向なので遅くなり、午後には光が逆になって速くなる。」本人の主張でないとしながら、まんざら否定している様子もない。1746 年には数学者 L. オイラー (1707–1783) が、光の波は物体に圧力を及ぼすと提唱したが、当時知られていたすべての理論によって否定された。

光圧は 1871 年に古典電磁気学の確立者 J. マクスウェル (1831–1879) が理論的に導き、1900 年にロシアの P. レベデフ (1866–1912)、また 1901 年にアメリカの E. ニコルス (1869–1924) とカナダの G. ハル (1870–1956) が実験的に証明した。太陽光で言えば地球上 1 m^2 当り $10 \mu\text{N}$ 程度の極めて小さな圧力である。

とはいえ、惑星間空間ではこんなに微小な圧力でも、気体イオンや電子などの粒子にとっては大きな効果として働きうる。また光圧は、太陽風に含まれる電子流や彗星物質の理論などで重要な役割を占めている (ケプラーの‘慧眼’と言えるかも知れない)。太陽の光圧を動力源とするソーラーセイルは 2010 年に JAXA の打ち上げた IKAROS で初めて実証された。もっと強い圧力の話もある。太陽の中心温度は $1.5 \times 10^7 \text{ K}$ で、超巨星では 10^9 K を超える。光圧の強さは温度の 4 乗に比例する。太陽では光圧は気体の圧力に比べてかなり小さいが、大質量星では光圧が星の圧力の大部分を担っているとされている。

1980 年代半ば当時の工業技術院電子技術総合研究所において筆者らが、我が国で初めて製作した SPM (走査型プローブ顕微鏡) で原子や分子の操作などのナノサイエンスの開拓を目指していたころ、ベル研究所の A. アシュキン (1922–) らが $1 \mu\text{m}$ 前後の微粒子を捕捉する光ピンセットの実験に成功



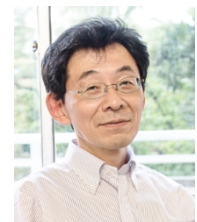
したニュースは、分子細胞生物学への応用を考えると衝撃的であった。この技術は同じベル研究所で S. チュー（朱棣文, 1948-）が行なったレーザードップラー冷却と金属原子の捕捉（1997 年ノーベル物理学賞）へと発展した。

この新学術領域研究において、光圧によるナノ物質操作と秩序の創生に向けた異分野の融合的な科学研究への挑戦が、ナノサイエンスに新たな歴史をつくってゆくものとして、その発展に大いなる期待を寄せている。

共同研究概要説明

共同研究 B：粒子間相互作用の制御と結晶等の階層構造創製

コーディネーター 尾松孝茂 千葉大学大学院融合科学研究科 教授



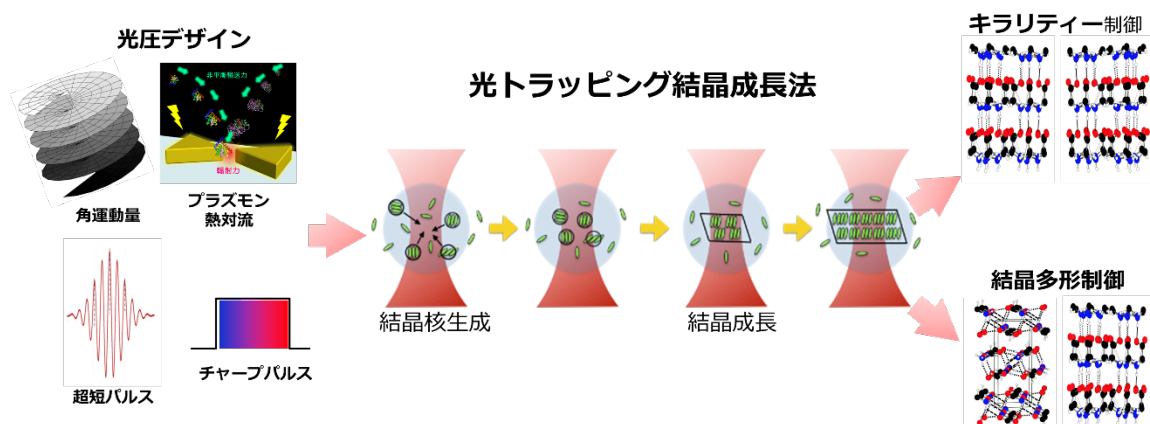
本共同研究では、高濃度溶液における粒子の配向や粒子間の相互作用を光圧により制御し、会合、結晶化等の自己組織化過程を人為的に操る技術確立します。

例えば、レーザートラッピング法による結晶育成では、光圧によって高濃度に凝集された分子から結晶核形成、結晶成長が自己組織的に起こります。光の全角運動量やパルス波形、物質の共鳴や非線形性、あるいは、プラズモンを駆使して光圧をテーラーメードして、分子の配向・濃縮・階層的配列し、結晶核生成から結晶成長に至る過程を制御します。それによって、単結晶性・結晶育成速度・結晶多形構造・キラリティーなどを選択的に制御できる革新的な結晶育成法を確立できる可能性があります。

また、プラズモンが創る局所的な光圧と巨大温度勾配による非平衡力を活用すると、質量の異なる複数の DNA を空間的に分離することができます。プラズモニックなナノ構造を操りプラズモンが創る光圧をテーラーメードすることで、この手法を高度に発展させて、DNA の質量主成分分析法やカーボンナノチューブのキラリティー選別法などを開拓します。

これらの技術を物性理論・物性計測・テラヘルツ分光計測の研究者と連携することで、さらに発展させて、バイオセンシングや触媒反応の画期的な高効率化・高感度化へと展開していきます。

本共同研究が成功したあかつきには、本新学術領域「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」の理念が「多粒子相互作用の選択的制御による構造と現象の創造」として大きく開花し、具現化します。





若手国際活動報告

蓑輪 陽介 大阪大学大学院基礎工学研究科・助教（A02 班：芦田 昌明グループ）

申請課題	日英研究ネットワーク形成のための英国訪問
期間	2017 年 1 月 4-8 日
訪問先研究者	Professor Kishan Dholakia University of St. Andrews, UK

当領域の国際活動支援班からのサポートを受け、2017 年 1 月 6 日に英国ロンドン開催された、JSPS（日本学術振興会）と EPSRC（Engineering and Physical Sciences Research Council、工学・自然科学研究会議）による Symposium on Material Sciences Pioneered by Structured Lights に参加してきました。共同研究および国際共同ネットワーク形成の促進をはかることを目的とした滞在でした。シンポジウムは“あの”王立協会（Royal Society）で開催されること、シンポジウム後のレセプションが在英国日本国大使館にて開催されることが事前に告知されており、開催前から日英両国の研究者にとってのシンポジウムの重要性をうかがい知ることができました。

シンポジウムでは、“普通で無い構造をもった”光を軸として多彩な研究発表が行われました。特に光圧を用いた光トラッピング・マニピュレーションの大家である Dholakia 教授（セント・アンドルーズ大学、University of St Andrews）からは、光トラッピングに関する最新の研究成果を中心にレビュー的講演を聞くことが出来ました。また、当領域のメンバーである岡本 裕巳 教授（分子科学研究所）、酒井 恭輔 助教（北海道大学）、尾松 孝茂 教授（千葉大学）からも、それぞれ、近接場によって明らかになった局所的なキラリティ、ナノスケール光渦の生成、光渦の光圧によるナノ加工などの紹介がありました。その他にも、光圧に関連する、あるいは共同研究を通じた発展が望める興味深い講演を聴くことが出来ました。

また、休憩・昼食・レセプションの時間を通じて英国の研究者と大いに交流をはかることも出来ました。前述の Dholakia 教授をはじめ、ロンドン近郊の研究者や、産業界からの参加者などとも議論を行うことが出来ました。この活動を通じて、より活発な国際共同研究のための礎を築くことが出来たと考えています。

石田 周太郎 北海道大学電子科学研究所・特任助教（A03 班：笹木 敬司グループ）

申請課題	円偏光局在場を用いたキラル結晶化に関する研究
期間	2017 年 2 月 19-26 日
訪問先研究者	増原 宏 教授 台湾交通大学, 台湾

金属ナノ構造に誘起する偏光制御した光局在場を用いたキラル結晶化のエナントマー制御手法開発を行うために、台湾交通大学 増原宏教授の研究室で、実験手技を学ばせて頂きました。共鳴波長を制御パラメータとしたギャップモードプラズモンを誘起する金属ナノ構造と金属ナノ構造の周期配置（正方格子、三角格子）の異なる金属ディスク構造をガラス基板上に作製したサンプルを事前に準備し、塩素酸ナトリウムの結晶化実験を行いました。その結果、それぞれのパラメータに対して、結晶化における異なった挙動を確認することが出来ました。この結果を光局在場の設計とサンプル作製へフィードバックし、光局在場を用いたキラル結晶化のエナントマー制御の開発の推進につなげます。作製したナノ構造を用いた実験を通して、キラル結晶化の手技を丁寧に教えていただいた Cheng, An-Cheih 氏に



感謝致します。また、同研究室の工藤 哲弘氏、Wang, Shun-Fa 氏とは、光圧を用いたナノ粒・マイクロ粒子の捕捉・配列に関する研究について、様々な意見交換をさせて頂きました。今回の国際活動支援では、上記実験に加えて、台湾交通大学の応用化学系の先生方とお話しする機会も頂き大変有難い経験をさせて頂きました。

このような機会を頂いた増原先生に深く感謝いたします。

開催報告

第1回公開シンポジウム (2017年1月17-18日)

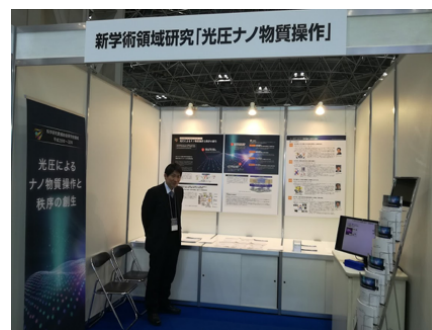
1月17日(火)、18日(水)の2日間、千葉大学工学系総合研究棟において領域主催の第1回公開シンポジウムを開催しました。A01～A04の各班の代表者・分担者による研究成果の報告、共同研究A, B, Cのコーディネーターおよび研究者による進捗報告を行いました。また特別講演として本領域アドバイザーでもある大阪大学の河田聡教授に「光圧研究への期待：むかし見た夢」というタイトルでご講演をいただきました。河田先生が積み上げて来られたご実績・ご経験を元に語られる「むかし見た夢」に感銘を受けました。これからの研究を担う若手研究者たちも心を動かされたと思います。

2日目午後からは領域の研究者・学生とともに一般参加者によるポスター発表を行い新たな共同研究を探ることができました。プログラムの最後には領域で組織している若手総括班が企画した講演会を行いました。領域の若手研究者が自身の研究をアピールする最初の機会となりました。

国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 2017 (2017年2月15-17日)

2017年2月15日～17日、東京ビッグサイトで開催された nano tech 2017 において「新学術領域「光圧ナノ物質操作」」という出展者名で、当領域の活動を一般の方々、特に産業界に広めるためにブース展示（パネル、ビデオなど）を行いました。この展示会の3日間の全来訪者数（出展者を除く）は53,106名と極めて規模の大きなものでした。ブースへの多数の来訪者が有るか不安な中でのスタートでしたが、持ち込んだニュースレター1号が約130部、領域を紹介した解説論文の別刷り100部全てが配布できるなど、多くの方に関心を持っていただけました。

ブース来訪者は、企業関係者が主でしたが、公設試験研究機関や大学などの方も来られました。キーワードである「光圧」に関しては、初めて聞くという方が大多数でしたが、説明を通して今後も継続して情報を欲しいという方も多数おられ、広報として一定の効果があったと思われます。



告知板

2017年4月19日(水)-21日(金)にパシフィコ横浜において The 4th Optical Manipulation Conference 2017 (OMC'17)を開催いたします。

<http://opicon.jp/ja/conferences/omc17/>

発行 新学術領域研究「光圧ナノ物質操作」総括班
E-mail: secretariat@optical-manipulation.jp