



単一微粒子の光科学

—光操作による光機能と反応の制御—

増原 宏*

Photoscience of single microparticles

Key Words : laser manipulation, fluorescence microscopy, photon pressure, nanometer particles, single microparticles

1. はじめに

従来の理学, 工学とか, 物理, 化学, 生物といった枠組みを越えて, 技術が, 概念が, 発想が融合し, 新しい学問体系を目指して進展している. 物質に関わる研究の世界では, 各種走査型プローブ顕微鏡の開発により単一原子, 単一分子の観察, 操作も可能となり, ここにきて一気にナノメートル科学技術へと走り出している. このような研究状況のもと成熟期を迎えたバルクの物質の構造, 物性, 反応, 機能の研究と, 単一原子, 単一分子のアプローチの間をどう橋かけし, 統一的に理解していくかが重要な研究課題となってきている. この普遍的な課題に答えるものとして, 我々は最近単一微粒子の光科学的研究が極めて重要と主張している.

微粒子はまず第1に, 限られた空間をもつことが特徴である. 電子, 電子エネルギーを閉じこめて, その状態を変化させる. またナノメートルオーダーでは表面・界面の圧倒的に大きい寄与が特徴である. バルクの系では無視される表面・界面が微粒子の物理的, 化学的性質を決めることが多い. その結果全く新しい構造・物性を持つことが期待され, 微粒子は気体, 液体, 固体に次ぐ第4の物質状態とみることもできる. まさにバルクと単一原子, 単一分子の間において, その研究は物質の本質的理解に貢献し

うる. さらに微粒子は自然界, 日常生活に広く分布している. 宇宙の塵, 霧, 雲, 雨, 大気汚染物質, 触媒, 吸着剤, 顔料, トナー, 化粧品, 香辛料, マイクロカプセル, イムノラテックス, 医薬品, 細胞, 微生物, DNA, プランクトン, スペーサー, マイクロバルーン, マイクロレンズ, スクリーン用散乱体などがすぐあげられる. 基礎から応用までにわたる微粒子研究の重要性がうかがえる.

2. 微粒子研究の新しい取り組み

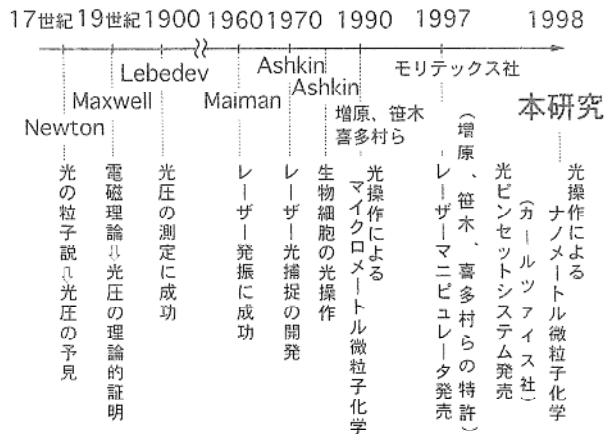
小さいものを調べる時はその集団を扱い, 観察し, 測定し, 解析し, 評価し, 理解しようとするのが常である. しかしこの従来のやり方で微粒子の本質をとらえることはできない. 微粒子にはサイズの分布があり, さまざまの形状をとり, 内部構造にばらつきがある以上, 集団の測定は平均値を与えるだけで, 決してエネルギー状態, 緩和時間, 応答関数の本質を教えてくれない. 従ってブレークスルーは単一微粒子を対象にして初めて開かれる.

この考えに従って, 我々は光操作により微粒子を一粒ずつとり上げ物性, 機能, 反応をサイズ, 形状, 内部構造の関数として調べることを提案し, また系統的に研究を展開してきた. これを可能にするのが, 高純度のレーザービームを顕微鏡下波長サイズに絞り込み, 微粒子に導入すると生じる光圧である. 光圧は光の勾配力に従い対物レンズの焦点方向をむいた力として働くので, 充分強ければ溶液中微粒子のミクロブラウン運動を抑え, 焦点位置に捕捉する. さらにビームを動かすことにより微粒子を自在に三次元空間で操作することもできる. この光圧に関する科学と技術の歴史について簡単に表1にまとめた. 波長以上の大きさの微粒子の光操作法の開発と応用は, 1990年代前半ではほぼ完成の域に達した. 今では製品も発売されている. 現在, 単一微粒子の最先端

*Hiroshi MASUHARA
1944年3月29日生
1971年大阪大学大学院基礎工学研究
科博士課程化学系化学専攻修了
現在, 大阪大学大学院工学研究科応
用物理学専攻, 教授, 工学博士, 光
化学・マイクロ分光・極微化学
TEL 06-6879-7837
FAX 06-6876-8580
E-Mail masuhara@ap.eng.
osaka-u.ac.jp



表1 光操作の研究の歴史



研究は波長以下の直接顕微鏡では見えないナノメートル微粒子が研究対象となっている。

3. ナノメートル単一有機微粒子

各種微粒子はいうまでもなく生物、無機化合物、有機化合物に分けることができるが、これを簡単に表2に示した。生物界には細胞をはじめDNA、蛋白、ビールスなどが各種コロイド状態になり水に溶けている。半導体超微粒子は光触媒として注目されており、また量子ドットはエレクトロニクスの最先端を切り開くものと期待されている。しかし概念的に、概念的に、興味深い対象は有機微粒子で、とくに単一高分子ミセルを形成しているユニマー、また dendrimer は一分子でありながら単一微粒子ともみなせる貴重な系である。まさに単一原子、単一分子とバルクを橋かける物質状態として注目している。我々は波長以下のナノメートル有機微粒子を対象を絞って研究を行っている。

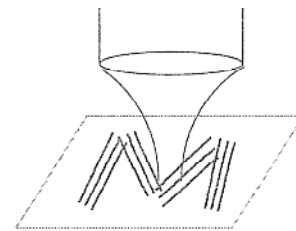
表2 何故ナノメートル有機微粒子か

バルク	生物	細胞	DNA	蛋白 リボヌクレアーゼ アルブミン分子 タバコモザイク ビールス	
	無機化合物	金属粉末		金コロイド 酸化チタン 電子ドット	
	有機化合物	マイクロカプセル	高分子微結晶	ベンキル 有機微結晶 一分子微粒子	
		有機結晶 液滴	微小液滴	高分子超微粒子	
	高分子微粒子	膨潤ミセル			
	サイズ	10 μ m	1 μ m	100nm	10nm
		光の波長			
		見える微粒子		見えない微粒子	

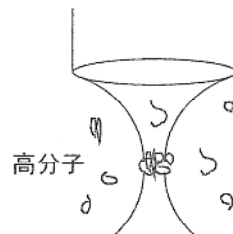
4. 単一有機微粒子研究の展開

波長より小さい微粒子一粒ずつをサイズ、形状、内部構造の関数としてみていくというアプローチは他に例をみないが、ごく最近まで技術的にも扱うことができなかったからである。従って課題の第1は単一ナノメートル微粒子の光操作、光検出、光制御各新手法の開発にある。顕微光散乱、顕微光干渉の測定が大きな役割を果たすものと考えられ、その開発を始めている。微粒子が蛍光性の場合には蛍光分光が極めて有効で、単に微粒子の存在を確認するだけでなく、電子状態、反応を調べることも可能になる。このような手法を駆使して一分子微粒子、高分子超微粒子、微小液滴など各種有機微粒子の研究新分野を開拓することが始まっている。いくつかの例を以下に示す。

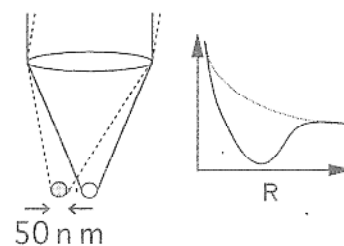
図1に模式的に示すように微粒子などを自在にナ



n m 配向集合体の配列・固定



単一 μ m 微粒子の形成



n m 微粒子間fN相互作用

図1 ナノメートル微粒子の光操作法への応用

ノメートルオーダーで配列、配向させ、集合させる試みがある。また微粒子を光操作するその力はレーザービームの出力で調整できるので、顕微鏡下で微粒子間、微粒子と基板間のfNオーダーの弱い相互作用を測定し、さらに制御することもできる筈である。さらに図2に模式的に示すように、微粒子同士を化学結合でつなぎ、配列させ結晶を構成していくことも準備している。

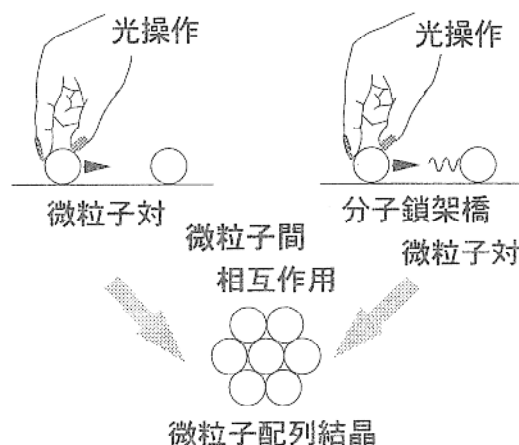


図2 光操作法によるナノメートル微粒子構造体の組み立て

有機微結晶も大変有望な研究対象であり、今まで手つかずだった10~100nm領域の微結晶の材料化、素子の開発が進んでいる。図3に光操作法を駆使して行い実験を模式的に示す。また電場に液滴をトラップし蒸発させて、溶質の単一微結晶をつくる過程の解析も興味ある実験である。

高分子微粒子は今までも色々な実用に供されてきたが、センシング用高分子超微粒子の単一解析と機能開発は、新たなブレークスルーをもたらすために必要不可欠のステップと考えられている。単一液滴の場合、その中で分子は自由に拡散でき、100nmを10ms程で横切ることができるので、いわば分子拡散を空間時間両領域で制御させるものと考えている。すなわち単一液滴の濃縮、閉じ込め、分配効果を利用した液滴触媒も夢ではない。この他基本的な問題として、サイズ、形状、内部構造に依存した単一微粒子光学応答理論の構築も立ち上がっている。

5. おわりに

このようなとり組みは一つの学問、技術で可能になるものではなく、分野横断的、境界領域的アプローチが必要不可欠である。これを模式的にまとめたの

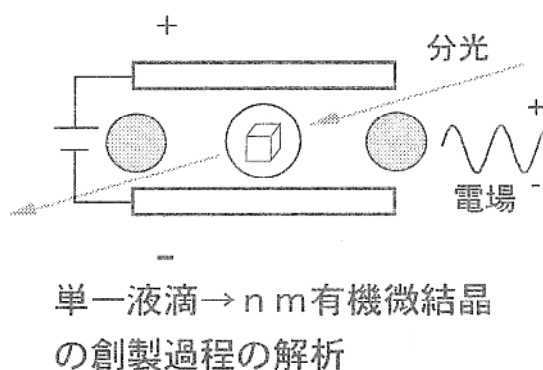
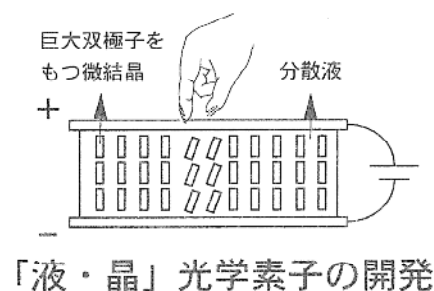
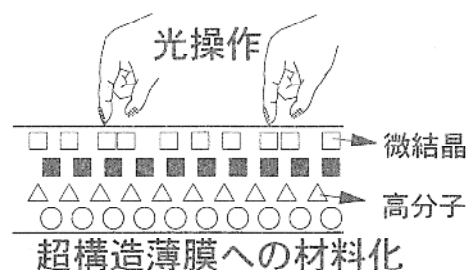


図3 ナノメートル有機微結晶の研究

が図4である。現在単一微粒子光科学の研究は文部省科学研究費補助金特定領域研究(B)として組織的に進められており、張紀久夫(阪大院基礎工)、伊藤正(同)、中西八郎(東北大反応研)、堀江一之(東大院工)、喜多村昇(北大院理)の先生方とともに推進している。このような取り組みにより、我々は微粒子の光機能と反応の制御を自在に行うその基盤を確立することを目指している。微粒子は自然界、日常生活に広くみられる物質状態なのでその研究成果の広がりにはかりしれない。すなわち新しい物質技術、新しい物質群の科学の源として、単一微粒子光科学



図 4 単一微粒子光科学の研究展開

の研究は位置づけられる。

参 考 文 献

- 1) 増原 宏, 喜多村昇, 三澤弘明, 玉井尚登, 笹木敬司著, 「マイクロ化学」(化学同人, 1993)
- 2) 増原 宏, F. C. De Schryver, 喜多村昇, 玉井尚登編著, “Microchemistry : Spectroscopy and Chemistry in Small Domains” (North Holland, 1994)
- 3) 増原 宏, F. C. De Schryver 編著, “Organic Mesoscopic Chemistry” (Blackwell, 1999)

