

光の力を活かしたナノテクノロジー

増原 宏

大阪大学大学院工学研究科教授

光をうまく使って物質の性質を調べる研究はずいぶん進んだ。
これからは、物質を反応させ、加工し、操るための道具として光を使いこなす時代である。

光はほんとうに不思議です。実体がなく、重さもないのに、物質と相互作用すると現れる。そして、光を受けた物質は突然、変化する。そこに魅入られ、長く研究を続けてきました。

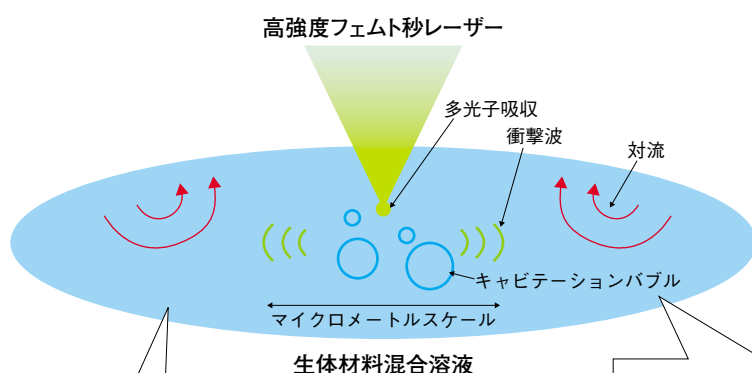
光科学の研究には、二つの意義があると考えています。一つは、どなたも賛同して下さることですが、新たな概念を生み出し、学問のフロンティアを切り開く

ことです。もう一つは、まったく新しい実際に役に立つ技術や手法を生み出すということです。藤嶋先生の光触媒は実用化に至ったすばらしい例ですが、まだそういう例は少ない。古くはナイロンの光重合^{*1}もありましたが、残念ながら、光を使わない効率的な重合が開発され、消えてしまいました。でも、熱や圧力をかけて反応させる手法は長い研究の歴史

があるのに対し、光を使う手法は研究が始まったばかり。もう少し時間をいただければ、たくさんのヒントと実用的にも成果が出せると思います。

反応が起これば形が変わる

私自身は、二つめの意義につながることを意識しつつ、一つめの「フロンティアを開く」ことに貢献したいと思っています。

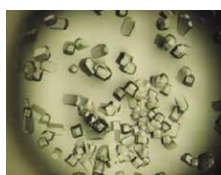


新しい可能性を生み出したフェムト秒レーザー
左は結晶化の例。レーザーをあてると、あてないときに比べて大きな結晶ができる。右は単一細胞操作の例。細胞が基板に伸ばした「足」をレーザーで切ってから、衝撃波で浮き上がらせる。

タンパク質の結晶化制御

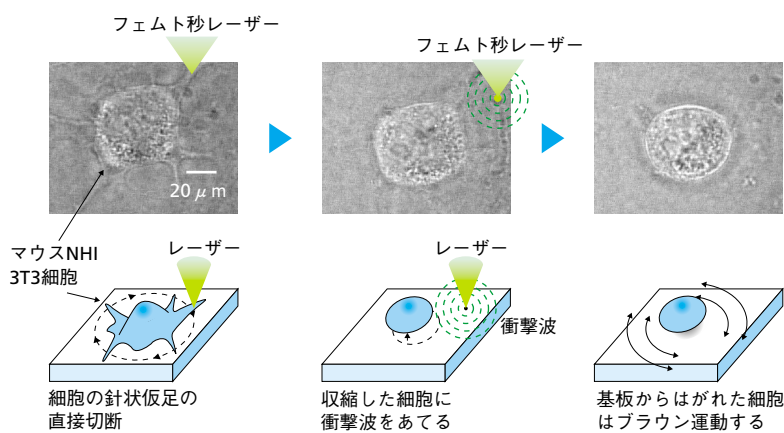


レーザー未照射時
結晶核が自然にできて成長



レーザー照射時
照射でできた結晶核が大きく成長

単一動物細胞の非破壊単離



写真提供：増原宏／細川陽一郎

ます。光で「観たり」、「制御したり」する研究は着実に進展していますが、なかでも、私は「光ならではのナノテクノロジー」を目指しています。大きさが数nmから数十nmのナノ粒子は、分子とバルク（ある大きさをもったかたまり）の材料との「かけ橋」になるからです。研究の大きな柱は、①ナノ分光、②集光レーザービームの力によるナノ会合、③光によるナノ加工やナノ操作の三つです。

①のナノ分光の最近の代表的な成果は、ナノ結晶1粒の反応解析です。大きな結晶とは違い、ナノ結晶では光を結晶内全体に均一にあてて光反応を起こすことができます。また、光反応に伴う形状変化を原子間力顕微鏡という装置で調べることができるのが、ナノ結晶の利点です。

反応の追跡によく使われる吸収分光法は、さまざまな波長の光を物質にあて、どの波長の光が吸収されるかということから物質の中にどんな分子が含まれているのかを知る方法です。しかし、ナノ結晶は小さすぎて光の吸収が非常に少ない。このため、「レーリー散乱」という現象に目をつけました。ナノ結晶が散乱する光の波長と吸収する波長の間には一定の関係がある。これを利用し、散乱光から吸収スペクトルの情報を求め、分子の状態を調べることにしたのです。

こうして、固体の中で反応がどのくらい進んだときに、どのような形の変化が起こるかを調べる手法ができました。固体中で分子が反応すれば、その固体の形は変わるはずですが。これがナノ結晶で初めて具体的に示された。今後の研究のための道筋をつくれたと思っています。

レーザーで結晶化や細胞を操る

②は、ナノ粒子を思いのままに並べるという研究です。光は電磁波ですから、レーザーの光をレンズで強く絞ると、焦点のあたりにはとても強い電場ができます。液体中に浮遊しているナノ粒子は、ふだんは激しくブラウン運動していますが、この電場には捕まってしまいます。こうして捕らえた粒子を基板上に運び、

増原 宏（ますはら・ひろし）
大学院修士課程までは光化学反応
中間体の理論計算を研究していた
が、博士課程でレーザーを使う実
験を始め、その後は一貫してレー
ザーを用いた光化学の研究を行っ
ている。従来の手法には飽きたら
ず、1988年からの新技術事業団
（現・科学技術振興機構）ERATO
プロジェクトでは、光で分子を動
かす研究に着手。その後も、斬新
な手法を次々に生み出している。
光化学の研究拠点の3極化（アジ
ア・アメリカ・ヨーロッパ）を目
指してアジア光化学協会を設立す
るなど、この分野の国際的な牽引
車としても奮闘中。

撮影：由利修一



別の光で粒子と基板の境目を溶かして接着すれば固定できる。これを繰り返せば、基板上にナノ粒子で望みのパターンを描くことができます。

この手法の特徴は、室温下、液体中でパターンをつくれることです。温度変化や乾燥に弱いタンパク質も、この手法なら配列させることができます。種々のタンパク質を並べた病気診断用のプロテインチップもつくれると思っています。

③は、フェムト秒レーザーを強く絞って液体にあてると、衝撃波が発生することを利用した研究です。衝撃波は3次元の津波のようなもので、強い力をもっていきます。いちばん注目しているのは、タンパク質の結晶づくりへの応用です。

タンパク質の分子の形は結晶にX線をあてて調べるのが一般的ですが、きれいで大きい結晶をつくるのはとてもたいへんなのです。濃度を調節した溶液を何週間も放置して、ひたすら結晶ができるのを待つ。それでも、小さな結晶がたくさんできてくることもある。ところが、フェムト秒レーザーをあてると、結晶のタ

ネがすぐにできてそれが大きく育つ。あて方によって結晶の数や大きさを加減することもできるのです。

衝撃波では、細胞を1個ずつ動かすこともできます。細胞は、基板とも他の細胞ともくっつきやすく、ふつうの方法では引き離すことができませんが、フェムト秒レーザーをあてると、ふわっと浮き上がるのです。細胞の脇にあてるようにするので、細胞自身を損ねることはありません。単一細胞の操作ができるわけで、生物学研究に大いに役立つと期待しています。

ここで話したような研究を、科研費のプロジェクト（特定領域研究「極微構造反応」）では大勢のメンバーにより、さらに広範に展開しています。このような光分子科学の研究は、従来の光化学、物理化学という枠組みを越え、新たなインパクトを与える段階に入ったと考えています。

（取材・構成 青山聖子）

*1 重合とは、小さな分子（単量体という）が次々につながって高分子をつくる反応のこと。反応を起こすきっかけが光の場合を光重合という。