

高強度レーザー化学

中島 信昭[†]

High Intensity Laser Chemistry

Nobuaki NAKASHIMA[†]

レーザーの化学への応用は1960年代後半に始まりました。最初は「化学反応をスローモーションのように見る」ことへの応用が注目を集めました。変遷を経まして、現在の化学応用の一つは表題の高強度レーザー化学となりました。このあたりの移り変わりの様子と今後への期待を以下に述べてみたいと思います。

1949年にGeorge Porter(英)がポンプ-プローブの方法を化学反応の追跡ために導入しました。化学反応の進行に伴い、その構造、分子種は時間とともに変わって行きます。このときのポンプ光、プローブ光は両方ともフラッシュランプであり、時間分解能はマイクロ秒でした。短時間パルスによる高速化学反応の研究という業績でPorterはノーベル賞を受賞しました(1967年)。ポンプ-プローブ光がレーザー、およびレーザーにより変換され光に取って代わりました。レーザーの短パルス化は急速に進展し、高速化学反応の研究の時間分解能が桁違いに上昇し始めたのは自然の流れでした。1968年にRentzepisによりピコ秒領域の実験が報告されました。1971年にはピコ秒白色光をプローブ光に使える、という提案がAlfanoとShapiroによってなされました。実際にこの方向でピコ・フェムト秒化学は大発展しました。視物質のロドプシンの初期異性化時間は200 fs, 光合成反応中心の電子移動が3000 fs, NaIの光分解の時間が1200 fsなどが求められました。高速化学反応の研究の総まとめのような形で1999年にはZewailが「フェムト化学」でノーベル賞を獲得しました。これはPorterに始まりZewailに至る「化学反応をスローモーションのように見ましょう」という流れでした。1993年にはRentzepisがピコ秒のX線回折実験の報告をしました。パルスX線は高強度フェムト秒パルスを金属表面などに集光照射することによって発生できます。このころにフェムト秒高出力チタンサファイアレーザーが本格的になりはじめ、「高強度レーザー科学」の時代に移行したと思われました。

ピコ秒の化学が始まる転換期を筆者は経験でき幸運でした。当時の研究室内(大阪大又賀研究室)で「ピコ秒の中間体のスペクトルが測定できれば素晴らしいけれども、とんでもないことだ。」(できない)という議論をしました。それから1年も経たないうちに「可能かもしれない。」となり、3年後(1974年)にはピコ秒の過渡吸収スペクトルが当時の研究室でも測定できるようになりました。ルビーレーザーを用いましたが、レーザーは3分に一回、適当なピコ秒パルスが出るかどうかは半分運まかせ、調子がよければ1日かかりでピコ秒の時間分割吸収スペクトルを一本測定できました。とにかく想像をしていなかった分子種が見えるようになりました。

高強度レーザー応用では何が見えるようになるのであろうか。新しいプローブ法のパルスX線で相転移、蛋白質の動的变化などが見えるようになるでしょう。最近、Corkumらは分子の電子軌道を撮影して見せました。高強度のフェムト秒レーザーにより引き離された電子が自身の電子軌道をプローブする、とのことで、今まで我々は分子軌道法の計算で計算された軌道の絵を見てきましたが、一部の分子ではそれを実測できるようになりました。高強度レーザー応用のひとつはレーザーパルスを自在に制御して化学反応をコントロールしようという方向です。光合成系のエネルギー移動にも適用しようとしているグループがあり、視物質の異性化の効率を制御できるという理論での提案があります。このような複雑な系の機構の解明は簡単ではなく今後も続く課題でしょうが、応用の広さには驚かされます。フェムト秒パルスによりタンパク質を結晶化できるそう(佐々木グループ, 2003年)、タンパク質構造の解明に役立つでしょう。分子のイオン化では分子を壊さずにイオン化できます。ことから、環境ホルモンの分析への応用が期待されています。高次高調波、アト秒の世界が展開しています。

特定研究「強レーザー光子場における分子制御」(山内 薫代表, 2002-5年)が設定されたのは必然の流れでありました。高強度レーザー化学は高強度レーザー科学の一部ですが、従来のナノ・ピコ・フェムト秒の化学よりはるかに幅広く、基礎、応用に展開されつつあります。

[†] 大阪市立大学大学院 理学研究科 物質分子系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

[†] Department of Chemistry, Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585