

光のエネルギーが分子に宿ったら:光化学の世界

九州大学大学院 理学研究院 化学部門 宮田 潔志

今回のお話しは、「光」と「分子」がキーワードです。いつもの「うちゅう」の記事とはテイストの異なるお話かもしれませんが、少しでも楽しんでもらえたらと思います。

1. “化学”は分子を主人公とした小宇宙探索

この雑誌の題目は「うちゅう」ですね。宇宙は我々が普段生活で考える大きさの“数十億倍”もの大きさをもっていて、見果てぬ彼方の世界に思いを馳せるのはとてもわくわくしますし、ロマンを感じますね！

さて、実は我々が普段生活で目にする大きさの“数十億分の一”の世界にも、非常にロマンあふれる世界が繰り広げられています。我々が見ることができないほど小さな世界の主役は、十億分の一メートル(ナノメートル)のサイズの“分子”です(図1)。分子を新しく作ったり、性質を詳しく調べたりするのが「化学」という学問の立場です。

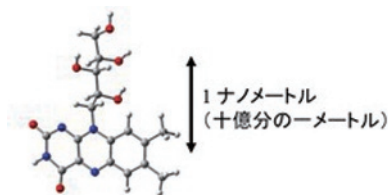


図1. 分子の大きさ

2. 光と分子は実はとっても身近

少し自己紹介をさせてください。私は、分子を扱う化学の分野の中でも、「光化学」と呼ばれる分野の研究に携わっています。分子は光とエネルギーのやり取りをできるのですが、その性質を詳しく調べたり活用したりする分野です。

私たちの視界は光が存在することによって彩られています。光がない場所では真っ暗で何も見えませんが、太陽の光や電灯の光があるところでは、赤・緑・青さまざまの色が目飛び込んでくることでしょう。そもそもこの文章の字を読んでいるあなたは、光があるからこそ色の種類や濃淡が認識できて、文字を読めているはず。人間の目は赤・緑・青などの光の違いを認識できるため、これは違った色の光が目に見えるということ。あ、あいつ面白い



図2. 色が見える仕組み

では、そもそも“色”の起源はいったい何でしょうか？ 太陽光や電灯は白色のものが多くありますが、実は白色光は様々な異なった色の光が合わさった光です。様々な

色の光が同時に目に検出されたときに、人間の頭では白色として認識されます。逆に、特定の色が見えている状況、例えば図2のように青色が見えている状況を考えてみます。太陽光などの白色の光が青色の部分に当たったあとに、青色の光は散乱されて目に届くけれど、黄色の光は吸収されて、読者であるあなたの目に届いていないということになります。

色が見える原理にも、分子が関係しています。分子の形によって、特定の色の光だけを吸収することができます。例えば、図3の写真の液体が紫色に見えるのは、緑-黄色を吸収する分子が含まれているからです。他にも、植物の葉っぱが緑色に見えるのは、植物に含まれるクロロフィルという名前の分子が赤色の光を吸収するからですし、紅葉で葉っぱの色が変わるのも、葉っぱに含まれる分子が反応して別の色を吸収する分子に変化するからです。身の回りに様々な形の分子が存在することで、私たちの生活は彩り溢れたものになっているといえます。

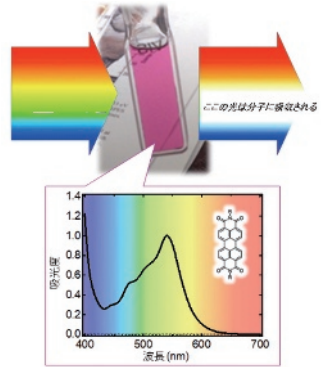


図3分子による光の吸収

3. 光エネルギーをもらって元気になった分子の底力

さて、光が吸収されるということは、光が持っていたエネルギーが分子に受け渡されるといふことに対応します。すなわち、**光のエネルギー分だけエネルギーを余計に宿し**

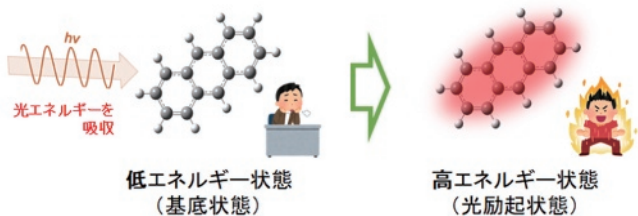


図4. 元気な人と元気な分子

た、“高エネルギー分子”が誕生します(図4)。人間もそうですが、エネルギーに満ち溢れた人はいろんなことができますよね。分子も同じで、この高エネルギー分子は、普通の分子にはできない様々なことをできるようになります。

インクの例だと、光を吸収した“高エネルギー分子”はそのエネルギーを持って余し、ただ熱として周りに捨てるだけですが、例えば光合成ではこの高エネルギー分子の性質を上手く使って二酸化炭素を有用な化合物に変換するという驚きの機能を達成しています。また、分子が蓄えた光エネルギーをもし電気として取り出せれば、太陽電池の出来上がりです。実は、光吸収によって分子もたらされるエネルギーは、温度にすると実に数千度に分子を加熱するくらいの大きなエネルギーに対応します。

4. ちょっと脱線：光エネルギーの重要性

人類が現代の便利な生活を行うためには、たくさんのエネルギーが必要です。これらのエネルギーがどうやって賄われているか、少し振りかえてみましょう。産業革命以降、人類は石炭や石油を燃やすことでエネルギーを取り出して現在の

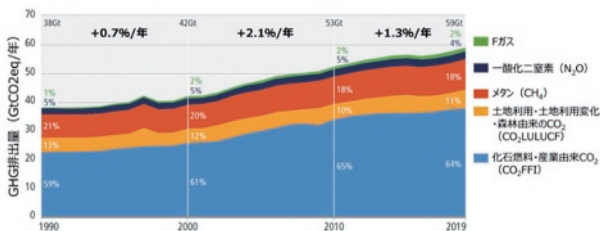


図5. 温室効果ガス排出量の推移[気候変動に関する政府間パネル第6次報告書(2022年)より]

の豊かな生活を達成しています。しかし、石炭や石油は使えばなくなってしまうため、現在のペースで使っていると、100年後には枯渇してしまうかもしれません。また、地球温暖化等の気候変動への悪影響も問題です(図5)。つまり現在の人間社会システムは、持続が不可能な構造となっています。どうやって持続可能な社会を実現していくか、というのは21世紀の人類共通の課題と言えるでしょう。少なくとも、化石燃料に依存したエネルギーからは脱却するすべを手に入れたいといけません。

一方、光エネルギーをはじめとした自然エネルギー(光・風力・潮力など)は、枯渇の心配がないことが大きな利点です。特に光エネルギーは太陽から常に地上に降り注ぐ光を利用しますし、原理的には地球上のほとんどすべての場所で利用できるエネルギーと言えます。また、そのエネルギー量の多さも特徴です。“一日間に地球上に降り注ぐエネルギー量”は、“人間が一年間に必要とするエネルギー量”に匹敵すると言われています。地球に降り注ぐ光エネルギーを1%でも有効利用できれば、原理的にはエネルギー問題は解決できると言っても過言ではないでしょう。

5. 人類の生活を支える光機能分子デバイス

光自体の性質を替えることは難しいですが、分子のデザインは化学の力を使えばかなり自在にできます。そこで、光のエネルギーを一旦分子に宿させて、光エネルギーが宿った高エネルギー分子(専門用語で「光励起状態」と呼びます)を働かせることでうまく望みの機能を発現させるのが「光化学」の考え方です。以下に、身近なものから最先端のものを含めて、いくつか光化学がなせる機能を紹介したいと思います。

光のエネルギーを電気エネルギーに変化させて、様々な活用できるようにするのが太陽電池です。太陽電池の材料としては現在は無機物であるシリコンが主流ですが、分子を上手くデザインしてやれば、太陽電池の特性を持つ分子システムを作ることができます。有機物でできた太陽電池は、シリコンの太陽電池と比較して薄くて軽量にしやすいため、今までの太陽電池には難しかった柔らかい曲面への貼り付けなど

ができるようになるのではないかとされています。

逆に、電気エネルギーを光にかえる技術も、人類の文明を支えています。テレビやパソコンのディスプレイがまさにそうです。ディスプレイも無機物でできている場合が多いですが、最近は発光性分子が使われることも多くなってきました。有機EL、という言葉聞いたことがある人もいるのではないのでしょうか。原理的には従来形式のディスプレイよりも省電力にできたり、製造プロセスが低コストにできるため、最新の携帯デバイスなどでは採用されているケースが増えてきています。これも発光能力に特化した分子の活躍と言えるでしょう。

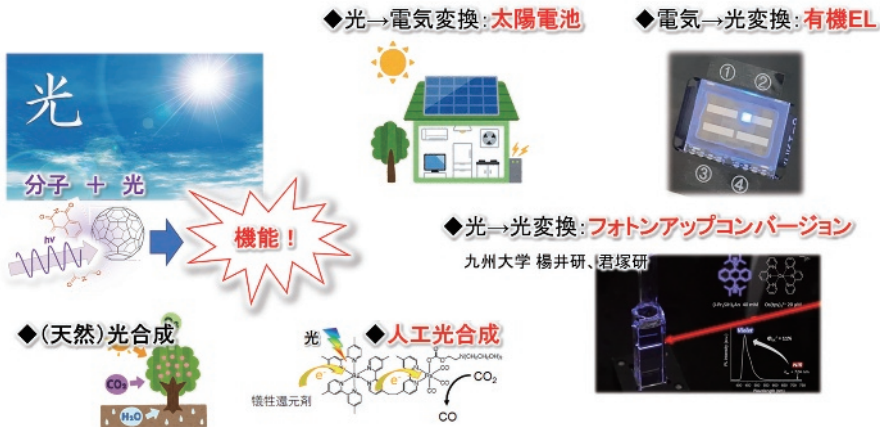


図6. 多様な光機能

光、とひとくちに言っても、色が異なる光はエネルギーが異なります。また、光の色の違いは波長の違いということもできます。具体的には、波長が400ナノメートルの青紫光は、波長が600ナノメートルの赤橙色光の1.5倍のエネルギーを分子に与えられます。エネルギーが高い光をエネルギーが低い光に変換するのは比較的簡単なのですが、エネルギーが低い光を高い光に変換するのは至難の業です。しかし、これをやってのける分子技術「フォトンアップコンバージョン」という研究も最近注目されています。低いエネルギーをいれて高いエネルギーの光が出てくる、まるで魔術か忍術かのような技術です。

そして光活用のある種の究極系とも王道ともいえるのが、やはり光合成でしょう。植物は光から得たエネルギーをもって二酸化炭素を消費し、有用な化合物に変換しています。この光合成を人工的に生じさせることができるようなシステムの構築を目指して、多くの研究者が日々研究を進めています。今はまだ天然の光合成に効率などが及びませんが、いつの日か人工光合成が天然の光合成に追いつき、凌駕するときが来ることを願ってやみません。

6. 高エネルギー分子「励起状態」を調べる超高速レーザー分光

光化学の鍵となる光励起状態ですが、**光励起状態はエネルギーが高い不安定な状態であるため、すぐにそのエネルギーを失って元の低エネルギー状態にもどってしまいます。**どのくらいすぐに戻ってしまうかというと、概ね十億分の一秒(ナノ秒)くらいの時間スケールです。短いと思うかもしれませんが、分子の大きさのサイズが人間と比べて十億分の一であることを考えると、時間スケールも十億分の一になっているのは頷けるかもしれません。

しかしこれは困りました。なぜなら、光化学の根本である光励起状態が、光吸収後にナノ秒という一瞬の時間しか存在できないため、光励起状態を調べるためにはナノ秒の時間スケールで生じる出来事を観察する技術が必要ということになります。

こんなことは普通は出来ませんが、これを可能にするの

がレーザーの技術です。レーザーは漫画やテレビで見たことがある人も多いかもしれませんが、実は科学の実験にも非常に重要な役割を果たしています。なお、これは豆知識ですがレーザーの正式名称はLight Amplification by Stimulated Emission of Radiationで、頭文字を取ってLASERと呼ばれています。今やカタカナで書くことが多いので、意外に思う人もいるかもしれませんね。

レーザー技術にも様々な種類のものがありますが、私が専門としているのは中でも時間分解能に特化した方法、超高速レーザー分光です。これはいわば、カメラのフラッシュのように一瞬しか光らない“パルス光”を極限まで研ぎ澄ませた技術です。通常のカメラのフラッシュは一瞬とは言ってもミリ秒の時間スケールですが、我々が研究で使っている超短パルスレーザーは、1ピコ秒(1兆分の一秒)以下の短い時間だけ光るような光です。同じ一瞬でも比べ物にならないくらい短い時間の一瞬さです。このレーザーを駆使すれば、分子の励起状態で生じる早い変化を実験的に見ることができるようになります。**超高速レーザー分光は、分子の光励起状態を科学する上で極めて重要なツールとなっています。**

私は、光×分子の不思議さに魅せられて、そこにレーザー使いこなして研究するのってなんかカッコいい！という心の導きにしがたって、今光と分子のレーザー分光の研究を軸に人類の共通課題を解決するという大義名分を胸に研究に励んでいます。

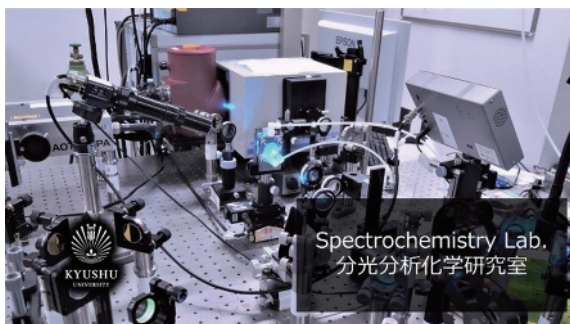


図7. 分光分析化学研究室のレーザー装置

7. 光や分子に興味をもったら

冒頭にも書きましたが、光や分子はとも身近でありながら、奥が深い研究対象です。また、人類共通の課題を解決するためのポテンシャルを秘めた学問分野でもあると強く感じています。本稿を目にして、もっと光や分子のことを知りたい！と思った人がいたら、是非以下の本などで好奇心を探求してください(図8)。

・光化学の驚異（光化学協会編/講談社ブルーバックス）

・「人工光合成」とは何か（光化学協会編・井上晴夫監修/講談社ブルーバックス）



図8. 光化学の本の紹介

8. おわりに

今回は身近なようで不思議と可能性に満ちた、光と分子のお話をさせていただきました。普段と違った分野の話でとつきにくいところもあったと思いますが、実は宇宙の研究も光と分子の相互作用を使って進められている部分も少なくありません。ちょっといつもと違った分野でも、食わず嫌いにならずにいろいろ顔をつっ込んで、自分の興味を探求してもらえたら幸いです。一見関係ないと思った勉強でも、めぐりめぐって新しい可能性を拓く種になる、というのは本当に良くある話です。いろいろ勉強して、自分の将来の可能性を広げていってください。また、基礎学力はやりたいことが見つかったときの「夢実現力」の原動力になります。

エネルギーを持っているといろんなことができるのは、人も分子も同じなのかもしれません。何はともあれ、元気よく人生を過ごしてもらえたらと思います。この記事を通じて、読者のみなさんに少しでもエネルギーを届けることができたら嬉しいです。私は生涯かけて光と分子の可能性を追い求める研究をしていると思いますので、本稿の読者の方々が大人になったときも、きっとまだ元気に分子の光を追いかけられていることでしょう。十年後でも二十年後でも、いつかどこかでお会いできたら嬉しいです！

著者紹介 宮田 潔志(みやた きよし)



光るものが好き。なぜ身の回りのものが光ったり光らなかつたりするのかを不思議に思い、夢中になって調べているうちに研究者になった。現在は九州大学理学部化学科で助教を務めている。山口県出身。