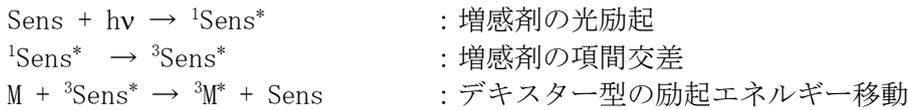


● Stern-Volmer プロットで求めることができるのは、 τ (自然寿命)と k_q ということによろしいでしょうか。
→ 直線のグラフを描くことで、切片と傾きが決まるのですが、Stern-Volmer プロットでは切片は 1 と決まっています。傾きは $k_q\tau$ (積) です。 τ (自然寿命) は、Stern-Volmer プロットとは別の扱いで消光剤を添加しない場合の蛍光強度の時間減衰により求めることができますので、 k_q の値を求めることができます。

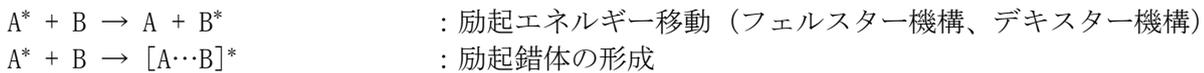
● 増感剤について。ある分子 M の項間交差が遅いとき、もう一方の分子 Sens の項間交差が速い場合に、その項間交差の速い方からデキスター型のエネルギー移動が起こり、項間交差の遅い分子の $S_0 \rightarrow T_1$ 励起が起こるようになるため、 $S_1 \rightarrow S_0$ に伴う蛍光を強く発するようになるという解釈で合っていますか。
→ 最後の結論が変です。三重項増感過程は以下に示すようにある分子 M の三重項励起状態 $^3M^*$ を生じさせるために、増感剤 Sens を用いるのですが、この過程で $^1M^*$ は生じませんので、蛍光は見られません。



● デキスター機構とデクスター機構と、2つ (の表記が) ありますが、これらどちらも同じですか。
→ 単なる表記の揺れです。

● トリピアル機構、フェルスター機構、デキスター機構は全部励起錯体ということですか。

→ 全く別の過程です。励起状態分子 A^* と基底状態分子 B があるとしましょう。



● 電子移動させるとき、常に D が D^+ で、A が A^- なのですか。

→ 電子を与える方をドナー、受け取る側をアクセプターと称するので、電子移動では、D は D^+ になり、A は A^- になるのです。

● 光合成の説明の (Z スキームの図の斜めの部分) この移動はどういう現象か。

→ 詳細は Z スキームについて調べてみてください。ここでは概略だけ説明します。縦軸は系のエネルギーです。680 nm の吸収を特徴とするクロロフィル二量体を、P680 と名付けています。この色素が光を吸収したあと、近傍に配置されているフェオフィチン(クロロフィルの中心金属であるマグネシウム配位がはずれたもの)に電子を渡します。フェオフィチン上の電子は、更に近傍にあるプラストキノンに渡され、更に、シトクロム b, f 錯体と呼ばれるもの、更にプラストシアニンに電子が渡されます。P680 上に生じたホール (正電荷) は、光合成の酸素発生部位から電子を受け取って電気的中性に戻り、再び光励起電子移動を可能とします。ここまでの過程が光化学系 I と呼ばれるシステムです。図の斜めの部分は、フェオフィチン上の電子が、より電子親和性の高い (より還元されやすい) パーツへ、バケツリレーのように電子を渡し、安定化しながらプラストシアニンに電子が流れ込むところです。このプラストシアニンは銅を補因子としてもつタンパク質で、電子を2つ溜めたあと、P700 と呼ばれる光化学系 II の 700 nm の吸収を特徴とするクロロフィル二量体からの光励起電子移動で生じたホールを埋める役割を果たします。P700 の光励起電子移動で生じた電子は、フェレドキシンというタンパク質中の鉄硫黄錯体に渡され、(水の電気分解や光分解では、酸素とともに水素を発生するのですが、その代わりに) 酸化型の NADP を NADPH に還元し、生化学エネルギーとして使用します。

● フェルスター、デキスター機構でエネルギーが共鳴するとき、エネルギーは (ほぼ) 全て電子の移動に充てられるのですか。光、熱が逃げることはあるのか。

→ フェルスター、デキスター機構は、励起エネルギー移動の機構です。電子の移動とは無関係です。なお、エネルギーの総和は変化しないという原則に従います。エネルギー移動の前後で系のエネルギーを比較して下さい。等エネルギー的なエネルギーミグレーションもありますが、発熱的になるようなエネルギー移動では、そのエネルギーの差分は熱 (周囲の溶媒分子などの併進エネルギーなど) として分配されていきます。

● 光励起電子移動も、デキスター機構と同様に分子間での電子移動であるため、デキスター機構と同程度の一定の距離制限 (電子雲の重なり) があると考えてよいでしょうか。

→ そう考えていただいて構いませんが、制限や上限と表現するより距離依存性と表現した方が正確です。

● エネルギー移動と光誘起電子移動は、競合するという認識で良いでしょうか。そうすると、それぞれが優先する条件はどのようなものになるのでしょうか。単純に発熱が大きい方？

→ どちらも可能なら（反応速度定数の大きさが同程度なら）競合するでしょうね。反応速度定数を決めるのは、発熱量だけではなく、配向、距離、エネルギー移動の場合はドナーの発光スペクトルとアクセプターの吸収スペクトルの重なり積分など、さまざまな要素で決まってくる話です。

また、電子移動の速度についてのマーカス理論によれば、一般的には、電子移動の速度は発熱的であるほど速くなるのですが、ある閾値を超えて更に発熱的になると、（通常は速くなるはずの反応速度が）逆に遅くなる「逆転領域」が存在するという驚くべき結論があり、これは実験的にも確認されている事実です。マーカスは、この理論により 1992 年にノーベル化学賞を受賞しています。

● 色はなぜ別々の波長に生じるのか。

● 光の三原色は赤、緑、青、色の三原色はシアン、マゼンタ、イエロー。この違いは何によるものか。

● 光の三原色を混ぜたら、なぜ白になるのか。

→ 授業でも申し上げたように、波長ごとに色が決まっているという概念は間違いです。波長だけで表現するのなら、長波長側から短波長側への虹の色の並び、赤→橙→黄→緑→青→藍→紫は想像できるのですが、赤と紫が連続する理由が説明できませんね。

3 色型色覚をもつヒトの場合は、非常に単純化してしまえば、3 つの代表的な波長の光の強度の強さの組合せで色を認識します。錐体細胞が 3 種類あるからです。単独の錐体細胞だけが刺激を受けた場合に認識する色が、光の三原色です。

可視域全体に亘りすべての波長の光がまんべんなく存在しているとき、ヒトは色の片寄りの無い状態として、ただ明るいと認識します。これに相当する色（厳密には色ではないのですが）が白色です。従って、3 種類ある錐体細胞がすべてまんべんなく刺激をうけている状態を、白色と感じるわけです。実際にはまんべんなくすべての波長の光がある必要はなく、光の三原色、赤、緑、青をすべて点している状態で、白と感じるわけです。

これに対し、物質が持つ色は、その物質に白色光が照射されたあと、ある特定の波長の光が吸収されてしまうことにより生じます。生じた結果、赤の光が残れば、赤に相当する錐体細胞が刺激をうけ、赤と感じます。このとき物質により青と緑の光は吸収されてしまったということです。色の三原色は、赤以外を吸収してしまう色、緑以外を吸収してしまう色、青以外を吸収してしまう色ということになります。だから、色の三原色を絵具として重ねていくと、赤、緑、青のすべてが吸収されてしまうので黒に近づくわけです。まったく光が反射されない状態の漆黒のものは、穴が開いているのか、そこに物質があるのか認識できないくらいです。

● 5 章の色についての説明で、物質に吸収されなかった光が人間の目に届き、色を認識できるという説明だったのですが、光の相環（？）（対する色とか補色）が吸収されることで色が認識できる（という）記述を見たのですが、間違いでしょうか。

→ 赤の補色は、白色光から赤色を吸収した残りの色です。以下、同じです。「色環」上、ある色とその補色は向かいあった位置に配置されます。

● 色素をもつものは、色素が吸収や発光を行っているが、色素を持たないものはそれ自体が吸収や発光を行っているのか。また、どちらも行うことがあるのか。いまいちイメージできません。

→ （主に可視光などの）光を吸収する分子や部分を、色素、あるいは発色団などと呼びます。当然、この色素部分が光の吸収などを行っていきます。色素を持たないということは、つまり光と相互作用しないわけですから、無色で色を持たない、光を吸収しない、ということです。

● 青色 LED が開発される前は、テレビはどのように色の表現をしていたのか。青色に発色する別の物質を使っていたのですか。

→ 屋外などに設置するような LED モニタ（画素の一つずつが LED 球になっているもの）、マイクロ LED ディスプレイ（一つずつの LED 素子がずっと小さいもので、室内用などにも用いられるようなもの）とは異なり、たとえば液晶ディスプレイでは、バックライトと呼ばれる面全体に発光する板状の素子の上に、R、G、B の三原色のフィルタと液晶素子（電気的な制御で透過率を 0 から 100% に制御できるような素子）を置くことで色を表現しています。授業でも申し上げましたように、この素子は PC や TV のモニタを拡大してやると視認できると思います。さらに前の世代のモニタ（ブラウン管）は、ガラス面に塗布された赤 (R)・緑 (G)・青 (B) に発光する 3 種類の蛍光色素に対し、奥側に設置された電子銃から電子線を照射することで発光させていました。そのため、今の液晶パネルとは異なり、モニタには数十センチ以上の奥行が必要でした。

● 色覚の話です。2色型や1色型の人は、3色型の人に比べて（授業中での例より）お肉が焼けているのかわからないから大変ということでしたが、3色型の人は紫外域まで見えたりする4色型の人にと比べると大変なのですか。（我々の多くは3色型ですから、それが普通のようになっているので、きっと不便だなと感じたことすらないのかもしれませんが、多くが4色型の場合、きっと不便だなと感じるのだと思います。）今の生活の中で慣れているからこそ、必要はないと思ってしまいますが、それは世の中が3色型に合わせてできているからなのかもしれませんね。（自問自答になってる。）

→ その通りですね。実際に4色型の色覚をもつ方にとっては全く別の色に見えるものも、3色型色覚では区別できないことがあるわけです。そこに不便を感じるかどうかは相対的なものでしょうね。

落語の有名な演目に「一眼国」というものがあります。ある香具師（やし、露店で芸を見せたりする者）が、聞いた話をもとに、一つ目の子供を捕まえてきて見世物小屋に出そうと出かけるのですが、一つ目の人たちが住む国に入り、一つ目の子供を見かけて攫おうとするのですが、その国の大人たちに捕まってしまう。その国の奉行がいわく「拐（かどわ）かしの罪は重いぞ。面（おもて）を上げい。御同役ご覧なさい。不思議だ、こやつ二つ目だ。調べは後回しだ。早速見世物小屋に出せ」。

● 「色盲」「色弱」などは遺伝的なものなのか。

→ 遺伝的多型によるものです。なお、最近では、「色盲」「色弱」の用語は使いません。文脈により身体的特徴に基づく差別の用語とされるからです。また、一番多い赤が見づらい二色型色覚の方は、赤が見づらい分、緑色系を3色型の色覚の方よりもさらに豊かに区別してみることができるといえます。このようにどちらが優れているということは一切ありません。

● 色盲検査とは何をして確認するのか（昔は、したのか）。

→ 上述の理由で、これも色覚検査と表現します。「石原式色覚検査表」と呼ばれるものがあります。色のついた丸いタイルを寄せ集めたような画像の中に、色の異なるタイルで数字が浮かびあがるものです。絵本を見ながら数字を読み取る、というような使い方をします。その他、アロマノスコープと呼ばれる装置で、上半分に緑と赤の混色光を、下半分に黄色の単色光を表示した視野で、上下の明るさが同じになるところを探すような検査方法もあります。また、パネルD-15テストというものもあります。連続して変化する色をもつ15枚のパネルを順に並べるといった方法です。

いずれもウェブで情報を見ることができますし、スマホなどのアプリにもなっているようです。

● 犬などは白黒で見えていると聞きますが、あれは1色型ですか。

● 人は3色、亀は7色見ることができるとい話を聞いたのですが、それは人と亀で何が違うのでしょうか。

→ 何が違うとって、遺伝子から違います。

ヒトの3色型色覚では錐体細胞が赤、緑、青に対応した3種類ありますが、イヌの場合は、青と黄の2種類のみをもつ2色型色覚だそうです。哺乳類のほとんどは2色型、爬虫類や魚類など（の多く）は4色型（赤、緑、青に加えて紫外域、300から330 nm に対応）だそうです。

● 2色型、1色型色覚が、錐体細胞のどれかが感度が低いなどによるのはわかったのですが、4色型色覚では、一般的な3色に加えてもう1つ錐体細胞をもっているということなののでしょうか。また、その錐体細胞は何色を感知できるものなのでしょうか。

● 4色型の色覚をもつ人がわずかにいるとのことですが、受容体等、経路がまるまる増えるのだと思います。そんなことが多型というだけで何人も現れるのでしょうか。大昔のなごりが発現してしまった？

→ <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/web/16/012700001/012700001/>（ナショナルジオグラフィックのウェブコンテンツです）も参照してみてください。以下、主にここからの引用になります。

進化の過程で脊椎動物ははじめに4色型の色覚を獲得したようです。魚類などが4色型の色覚です。そして、哺乳類は進化のいずれかの過程でそのうちの2つを失い、いったん2色型の色覚になります。哺乳類の共通の祖先が夜行性であったことも関係しているらしいです。暗いところでは桿体細胞（明るさを検知し、錐体細胞にくらべて高感度）を増やす方が有利に働きます。サルを対象にした研究で、エサとなる昆虫を捕食するためには、3色型よりも2色型の色覚の方が、赤・緑の色コントラストに弱い反面、逆に明るさのコントラストや形や形状の違いに非常に敏感であるために有利であるという研究結果もあるらしいです。

哺乳類のうち、サル的一种および霊長類は再び3色型色覚に戻ります。実は、哺乳類が失った2つの錐体は魚類の錐体のうち緑と青なのだそうです。その後、紫外線型の錐体を変化させて青型に変化した他、霊長類な

どでは、赤の錐体の変異（サブタイプ）として緑を生み出して使用しているのだそうです。緑の錐体を再生する過程としては、授業でもちょっとだけお話をしましたように、森の中の生活で熟した果実を見分けるのに有利であったという説もあります。

ある種類のサルは、オスは2色型の色覚で、メスの一部が3色型の色覚をもつのだそうです。これは、性染色体（X染色体）の上にある赤オプシンを緑オプシンに変異させたあと、ヘテロ接合のオスはX染色体を1本しか持たないので、赤または緑と、青の2色型色覚になり、X染色体を2本もつメスでもホモ接合の場合は同様の2色型色覚、ヘテロ接合の場合に青とともに赤と緑の両方の錐体をもつ3色型の色覚が発現するのだそうです。その後、おそらく進化の過程で、相同組換えによる遺伝子重複の変異を起こし、同一のX染色体上に2タイプの錐体視物質の遺伝子が保持されることとなり、X染色体を1本しか持たないオスも3色型色覚を有するようになったらしいです。なお、およそヒトの50%は「緑オプシンと赤オプシンの遺伝子の前半と後半が組み換わったハイブリッド・オプシン」をもつのだそうです

このように赤オプシンとそこから派生した緑オプシンの遺伝子は、X染色体上にあるので、X染色体を2本もつ女性に比べ、X染色体が1本しかない男性の場合は直接影響があるので、2色型色覚の割合が女性より男性に多いということのようです。（女性の場合は、2本のX染色体がヘテロ接合であった場合、一方に変異があっても因子保有者になっても、発現しない）。

4色型色覚については、正直のところほとんどわかっていないという状況のようですね。以前読んだ記事では、（青型の錐体の変異による）紫外域に対する感度をもつと書いてあったように記憶していたので、授業ではそのように紹介したのですが、今回調べ直して、具体的な対象者についての記述を見つけることができませんでした。もしかしら、魚類、爬虫類などの色覚の話と混同してしまっていたために起きた勘違いかもしれません。「女性に多い」ということから、青型の錐体の変異により、紫外域の錐体を再獲得したと考えるより、次の段落で紹介する黄色錐体が関与すると考える方が自然ですね。

こちらの記事（<https://gigazine.net/news/20160113-mystery-of-tetrachromacy/>）では、4色型の色覚の例として、赤と緑の錐体の他に、赤の錐体の変異した黄色型の錐体を持っているという紹介が書いてあります。この種の4色型色覚は、女性に多く、家族の男性、特に息子や父親が先天性の赤緑色覚異常である可能性が高いそうです（緑、赤のオプシンを形成する遺伝子がX染色体上にあるためです）。実際問題として、これまで4色型を想定した大規模な検査はほとんど行われていないと思われるので実態はわかりませんが、一説によると女性の最大で12%程度がこのタイプの4色型の色覚を持っている可能性があるということらしいです。

● 色覚補正レンズの仕組みが知りたい。

→ 錐体細胞の1種または複数が完全に欠損してしまったタイプの色覚では、効果はありません。

3種類の錐体細胞のバランスが崩れている場合、たとえば赤の錐体細胞が少ない場合、緑と青の光を減光してやることで、3種類の錐体細胞に対する刺激を同程度にそろえるということです。

なお、見え方が変わるということは、新たに識別できる色が増えるという反面、今まで識別していた色が違う色に見えるようになったり、識別しにくくなるといったことも含みます。また、個人情報として色覚型について周囲に知られたくないといった場合もあるかもしれません。それぞれの個人の状況、周囲の状況、場面、必要に応じて使い分けることになります。

日常生活に支障がない場合は、さほど気にする必要はないのですが、知らないより知っておいた方が選択肢が広がると思って授業でも取り上げました。私自身、資料を見て書いているだけなので、細かいところはわかりません。詳細は、大手眼鏡ストアやレンズのメーカ、関連団体（<http://neo-dalton.com/>、<http://www.truecolors.jp/index.html>）などで調べたり、相談して下さい。