

## 信号反応って何だろう？ 次回までの宿題

### 【1】はじめに

化学は物質の“隠された性質”を明らかにする学問なんだ。そして、隠されていて見えないものを明らかにしようとするのだから、ここでは、イメージがとても重要だ。しかし、イメージは突然得られるものじゃない。正確なイメージを描くためには、それに関する正確で膨大な知識が必要になってくる。どういうことだろう。地球を例に考えてみよう。きみたちは地球が太陽の周りを回っていることを知っている。また、地球が球体であることに疑問をもったりもしないだろう。しかし、人類の歴史を通して見れば、そうではない考え方が支持されていた期間も長いことはわかるはずだ。

そこで、ちょっとした仮定を立ててみよう。きみたちが海外に旅をしたら、その人たちは地球の周りを星々が回っていると考えることに気づいた。きみたちは、この人たちになぜ地動説が正しいのかを説明することができるだろうか。きみたちが別の国に行ったら、その人たちは地球が平面だと思っているようだ。きみたちは、この人たちに地球が球体なのが良い理由を説明することはできるだろうか。

どうだろう。何となく「知っている」と思っていることと、それを「証明できる」ことの違いは小さいようで非常に大きいことがわかるかな。どうすれば地球が球体であると証明できるだろうか。きみたちは地球を宇宙から見た画像を見たことがあり、それで地球は丸いと思っているかもしれない。しかし、旅先にはその画像がなかったら、どうやって地球が丸いと証明できるだろう。絵ではなく、言葉を尽くして、地球の丸さや地球が太陽の周りを回っている理由を説明できるだろうか。

ここで重要になるのは、頭の中で地球を思い浮かべる「イメージ」だ。そして、そのイメージを説明するための知識が必要なことは言うまでもない。学校教育の中で学ぶことは、ともすると「当たり前」のことであり、そこには何も「新しい事実はない」と思うかもしれない。しかし、きみたちは、「今、私たちが知っていること」を学ぶことで、「今は私たちにはわからないことを知る方法」、つまり、「未知なるものを知るための方法論」を学んでいるんだ。だからこそ、覚えなくてはならないこともある。しかし、それは友だちの名前を覚えるのと同じで、きみたちが生活していく上で必要なことなんだ。

### 【2】信号反応って何だろう

信号反応という化学反応を聞いたことがあるだろうか。それは容器の中で、時間とともに黄色、赤、緑と変化する化学反応だ。この色は信号と同じだね。だから信号反応とよばれている。図1に画像を載せておいたよ。見た目もきれいだし、とても不思議な化学反応だね。しかし、科学者としては、それで済ませてはいけない。科学者が、こういった不思議な反応を見かけたら、何を考えるだろうか。

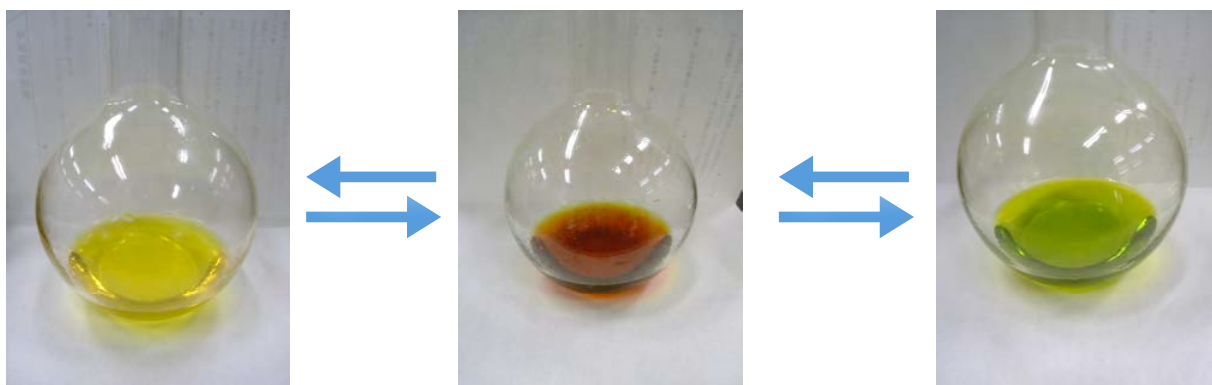


図1. 信号反応(広島大学大学院工学研究科エネルギー化学研究室資料より)

## 課題：科学者の疑問

信号反応の画像をみて、科学者であるきみはどのような疑問をもつだろうか。いくつかを挙げてみよう。

科学者は未知の出来事に対して、とても興味がある。それは「知らない」ということを恥じたりはしないからだ。ノーベル物理学賞をもらったファインマンは「科学は不確かだ！」の中で、こう述べている。

『現在科学的知識と呼ばれているものは、実はさまざまな度合いの確かさをもった概念の集大成なのです。なかにはたいへん不確かなものもあり、ほとんど確かなものもあるが、絶対に確かなものは一つもありません。科学者はこれには慣れていて、たとえ知らないものがあったとしても、生きていくのには何の矛盾もないことを悟っています。「知らないでいて、どうして平気で生きていけるんです？」などと聞く人がいますが、僕にはその意味がさっぱりわかりません。僕はいつだって知らないまま生きているんですから。僕が知りたいのは、どのようにすれば知ることができるか、ということなんです』

ファインマンも言っているように、疑問を抱いたら、次にはそれを調べる方法を考えなくてはいけないね。信号反応が「何故起こるのか」。この現象を理解するためには、ふたつの化学原理を知っておかなければならない。それは以下のふたつだ。

①酸化還元反応

②反応速度論

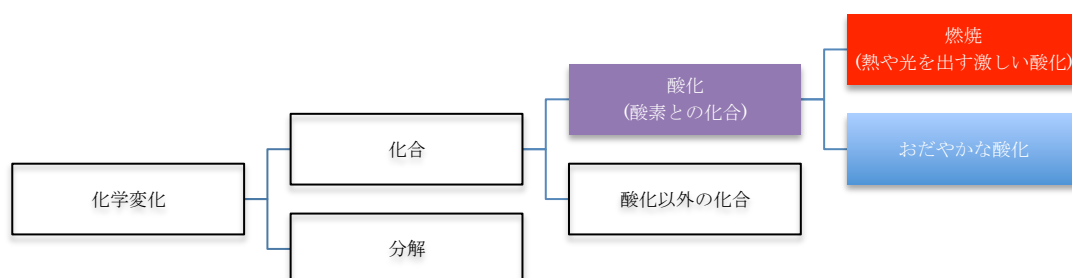
まず、このふたつについて考えてみよう。

### ①酸化還元反応

**酸化還元反応**は、化学反応の中でも特に重要な反応だ。なぜなら、私たち人類の歴史は「酸化」との闘いの歴史だからだ。人間は、物質を酸化から守ることに、懸命に取り組んできた。食品が酸化すれば腐敗する。金属が酸化すれば錆びてしまう。酸化は人類にとって物質の性質を望ましくない方向に変えてしまうことが多い。そこで、人類は、酸化と闘ってきたんだ。今の私たちの生活も、その試行錯誤によって勝ち取った酸化を予防する方法によって支えられている。

#### ・中学校での酸化と還元

新しい指導要領に切り替わって、今は、燃焼に酸化が含まれるようになったね。そこで、酸化は、大きくふたつに分けることができる。



酸化には、鉄が錆びるような“**穏やかな酸化**”とマグネシウムが燃焼するような“**熱と光の発生を伴う爆発的な事象としての酸化**”の2種類があるんだ。同じ酸化であっても**反応する速度の違いによって、現象として異なって見えることがあるんだね**。だから、観察した現象のみから判断するのではなく、化学反応が何故起こるのかを原子・分子から考える重要性を学習することが重要なんだ。ちなみに第2学年の質量保存の法則でも、銅の酸化が取り上げられているぞ。こんな風に、酸化還元反応は中学校～高校～大学を通して、とても重要な化学反応だ。

課題：酸化の違い

穏やかな酸化と燃焼は、何が違うんだろう。ふたつの酸化の条件の違いを表にしよう。

### ・酸化還元の定義

酸化還元にはいくつかの定義があると言ったら驚くだろうか。『科学とは自然現象を解明する学問で、それは「ただひとつの正しい答え」を導くものである』と思っている人には、とても意外かもしれないけれど、私たちは「自然の真なる姿」を知ることはできないんだ。私たちが自然を見るときには、「科学の眼」を通して見ている。たとえば、自然現象を数値化するのが、「科学の眼」を通じた見方だ。哲学者カントは、純粋理性批判の中で、大まかに次のようなことを言っている。

『**空には本来形がないが、丸窓から見れば丸く見え、四角い窓から見れば四角く見える**』

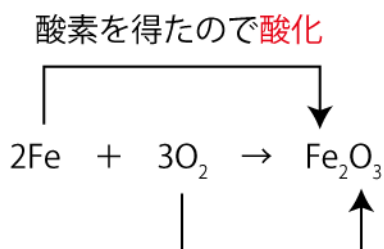
科学の眼を通して見る限り、私たちは自然の真なる姿を見ることはできない。そのときそのときで、私たちに役に立つように自然を説明しているんだ。だから、今とは異なる科学が生まれれば、その科学を通して見た自然の姿は、きっと今とは全く違うだろうし、それは全く不思議なことではないんだ。

話を戻そう。酸化還元にはいくつかの定義がある。これは、説明しようとする出来事に対して使いやすい定義をそのときそのときに選んで使うためだ。いくつも覚えるのは面倒だと思うかもしれないが、これが今の科学の限界であると思えば、きみたちが新しい科学を探し出す糸口になるかもしれないね。

### ・狭い意味での酸化と還元と広い意味での酸化と還元

**狭い意味での酸化**というのは**酸化物になること**、つまり**酸素と化合する反応を指すんだ**。その逆、分解して酸素を失う場合を**狭い意味での還元**とよぶ。

狭い意味での酸化還元について確認しておこう。鉄が錆びるのは、どのように表されるだろうか。鉄が錆びるのは鉄と酸素が化合することによって起こる“**穏やかな酸化**”だった。



酸素同士の結合が切れて鉄と結びついたので、  
酸素を失い**還元**

図2. 狭い意味での酸化還元反応

鉄は酸素と結合して酸化物になったので**酸化された**。一方、酸素が鉄と結合することによって**酸**

素同士の結合がなくなり酸素が失われたので還元された。ということがわかるかな。

ここで、もっとも大事なことは、**酸化反応と還元反応は同時に起こっている**ということだ。このふたつの反応はどちらかが単独で起こることはない。酸素をお金に例えてみるとわかりやすいかもしれない。酸化される方は、酸素もらうので、お金をもらったことになる。しかし、誰かがお金をくれなければ、お金をもらうことができないね。だから、お金を払う側、酸素分子がいることがわかる。

それにしても上の式のように、化学式で表すと、どんな反応が起こったのか、一目で理解することができるね。これをすべて言葉で説明すると文章が長くなる上に、わかりにくいんだ。だから、科学者は、こうした化学式を使う。たとえば、日本人とアメリカ人とエジプト人が一緒に実験を行っていたとして、それぞれの話す言葉は違っても、この式を書けば、相手に自分の伝えたいことがすぐに伝わる。つまり、元素記号は「化学のアルファベット」、化学式は「化学の言語」なんだ。

今は酸素と化合する場合について考えたので、今度は逆に酸素を失う場合について考えてみよう。酸素を失うと還元されるけれども、酸素を除去するにはどんな反応があるだろうか。中学校理科では、銅の酸化還元を行う場合、渦巻き銅線を加熱して酸化銅にした後、酸化銅(CuO)を加熱して水素ガスを吹き付けると一瞬で綺麗な銅に戻るという実験があるよ。



図 3. 酸化銅(色が黒い) 東京書籍より

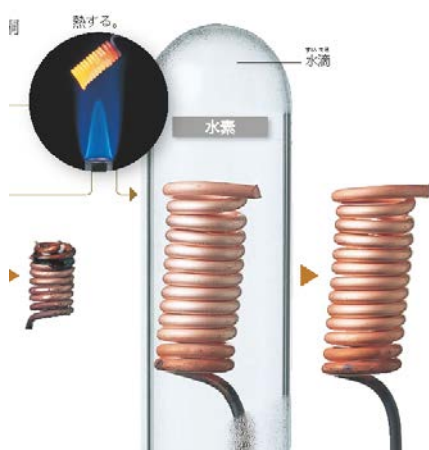
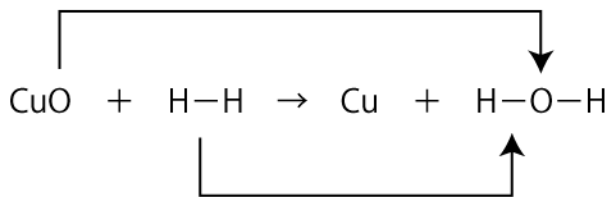


図 4. 水素が充満した試験管に熱した酸化銅を入れると純銅に戻る(東京書籍より)

このことから、酸素を除去するためには、水素を作用させるのは有効な方法のひとつであることがわかるね。そこで、**化合物が水素を失う反応を酸化、水素を得る反応を還元**と言うこともできる。これが広い意味での酸化と還元だ。酸化銅と水素の反応で考えてみよう。

水素を得たので還元



水素分子の結合が切れて、水素を失ったので酸化

図 5. 広い意味での酸化還元反応

酸化銅の酸素原子は、水素を得て水(H<sub>2</sub>O)になった。水素を得たので還元された。一方、水素分子は、水素同士の結合が切れて、酸素と化合したので、水素を失ったため、酸化された。

このように酸化還元にはいくつかの定義があり、他にも電子の授受による酸化還元、酸化数の増減による酸化還元がある。これらをまとめると以下のような関係にある。

表 1. 酸化還元の複数の定義

	酸素の授受	水素の授受	電子の授受	酸化数
酸化	もらう	失う	失う	増える
還元	失う	もらう	もらう	減る

私たちは、科学の眼を通じて自然現象を私たちの生活(広い意味での知的な生活も含めて)に役立つように切り出しているのがわかるかな。科学というのは「自然の真なる姿」を探し出す宝探しではなく、人間と自然とが共同で作り上げる「芸術作品」なんだね。

この酸化還元反応をうまく利用した科学技術は沢山あるけど、愛媛県に縁が深いのは、やはり銅の電解製錬だろう。なぜなら新居浜に本拠を置く、住友金属鉱山株式会社では、電解精錬による銅の製錬を産業にしているからだ。現在の住友グループには、商事、化学、林業、建設、重機械工業、電工、金属鉱山、金属鉱業、電工などと実に多くの部署があるけれど、元々住友グループは別子銅山と共に歩んできた会社だったんだ。そして、愛媛が産出する銅が世界の銅市場を動かしていた時代があったんだ。別子銅山と住友と愛媛県は切っても切れない関係なんだよ。

### 課題：別子銅山の歴史

愛媛県は江戸末期から昭和にかけて、銅の生産と共にあった。しかし、銅の生産は様々な問題も引き起こしたことは忘れてはいけない。銅の原料となる鉱石は硫化銅(CuS)であり、ここから銅を取り出す過程で亜硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)が発生する。亜硫酸ガスは、酸性雨の原因となってしまった。

1. 亜硫酸ガスが、空気と水分と反応して硫酸となる反応過程を調べよう。
2. 住友では、亜硫酸ガスの発生を抑えて有効活用するために、亜硫酸ガス処理塔をつくり、硫酸アンモニウムを(NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>)生産することにした。硫酸アンモニウムを販売する会社が後に住友化学になっている。硫酸アンモニウムは何に使われるのかを調べよう。

### ②反応速度論

先ほどの酸化還元で、反応する速さの違いで酸化は「燃焼」と「穏やかな酸化」に分けられることを学んだ。これは重要な点だ。そう、化学者は、何が反応するのかということだけでなく、どのくらい速く反応するかということにも関心がある。たとえば、黒色火薬は一瞬のうちに爆発を起こすけど、コーヒーに入れた砂糖が瞬間的に溶けるということはないね。私たちは環境浄化の速度を速めようと努力し、錆びや老化を遅らせようとしている。つまり、速度が問題なんだ！

同じ化学反応でも、反応の条件を変えることで反応が進む速さ、つまり反応速度が変わるんだ。



どうしてなのだろうか。反応速度を決める要因は大きく分けてふたつある。

1. 反応物の濃度

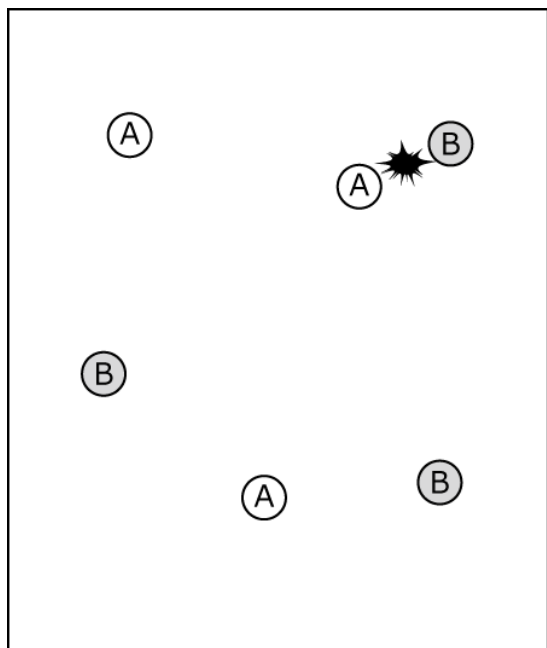
2. 反応温度

そこで、このふたつについて考えてみよう。

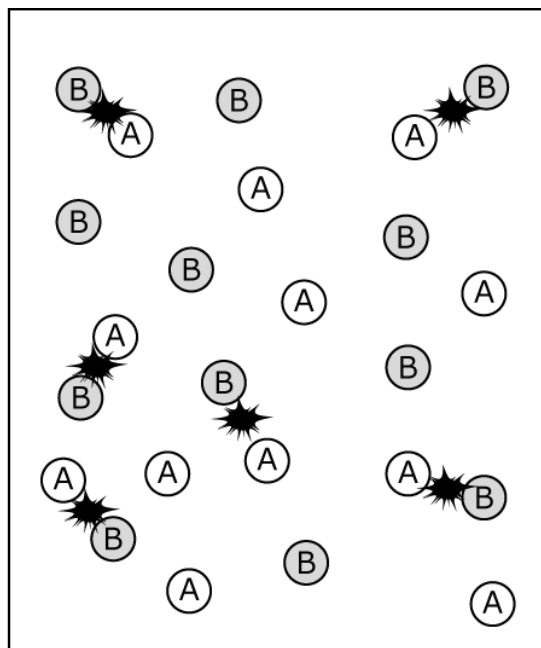
1. 反応物の濃度

たとえば  $A+B \rightarrow C$  という化合の場合で考えてみよう。原料 A と B が沢山あればあるほど、つまり A と B の濃度が高いほど、反応は速い。どうしてだろう。それは簡単だ。沢山あることで、A と B とが出会う確率が高いからだ。化学反応は、A という分子と B という分子が出会う、つまり衝突することで起こる。ということは、そもそも衝突が起これなければ、反応が始まらないんだ。

とすれば、衝突が沢山起こる条件にすれば、反応は速く起こるはずだ。その解決法のひとつが、濃度を上げることだ。A も B も沢山あれば、A と B とが出会って反応が起こりやすくなる。



原料 A と B が少ないと出会いにくい  
= 反応が起こりにくい



原料 A と B が多いと出合いやすい  
= 反応が起こりやすい

図 6. 濃度による反応の起こりやすさの概念図

では、化合  $A+B \rightarrow C$  の反応で、B の濃度は一定にして、A の濃度を 2 倍にしたら、衝突する回数は何倍になるだろうか。また、衝突の頻度と反応速度の間にはどのような関係があるだろうか。考えてみよう。

まず、A の濃度を 2 倍にするので、A と B とが衝突する回数は 2 倍になるはずだ。そして、**衝突する回数が 2 倍になるので、反応する速度も同様に 2 倍になる**のがわかるだろうか。図 6 を見ながらイメージしてみよう。科学では、相手にする対象は目に見えないほど小さいことが多い。そして、実験ができる環境も限られている。だから、このように頭の中で「実験」することが重要なんだ。

では、次に A の濃度を 3 倍にしてみよう。反応速度は何倍になるかな。そう。反応速度は 3 倍になる。これを式で表すと下のようになるぞ。

$$v = k[A][B] \quad \dots(a)$$

$v$ は反応速度,  $[A]$ と $[B]$ とは, それぞれ A と B のモル濃度(物質量の概念は覚えているかな。1 リットル辺りのモル数を表している。単位は mol/L だ)を表している。そして  $k$  は反応速度定数とよばれている。これは定数といわれているだけあって, 反応の種類と温度が同じなら一定の値で, A や B の濃度には依存しない。

さきほどの濃度の変化と反応速度の関係を式で考えてみよう。A の濃度を 2 倍にしたので  $2 \times [A]$  となったね。

$$v' = k(2 \times [A])[B] = 2 \times k[A][B] = 2v \quad \dots(b)$$

(b)を(a)と比べると丁度 2 倍になっている。つまり A の濃度を 2 倍にすると反応速度は 2 倍になるということだ。同様にして, A の濃度を 3 倍にすると, 反応速度が 3 倍になることがわかると思う。どうだろう。言葉で説明するよりも, 式を使った方が, すっきりと説明できるとは思わないかい。だからこそ, 科学では, このように数式を使って現象を説明するんだ。

課題：濃度と反応速度の関係

化合( $A+B \rightarrow C$ )の反応で, A の濃度を 2 倍, B の濃度を 3 倍にしたら, 反応速度は何倍になるだろうか。

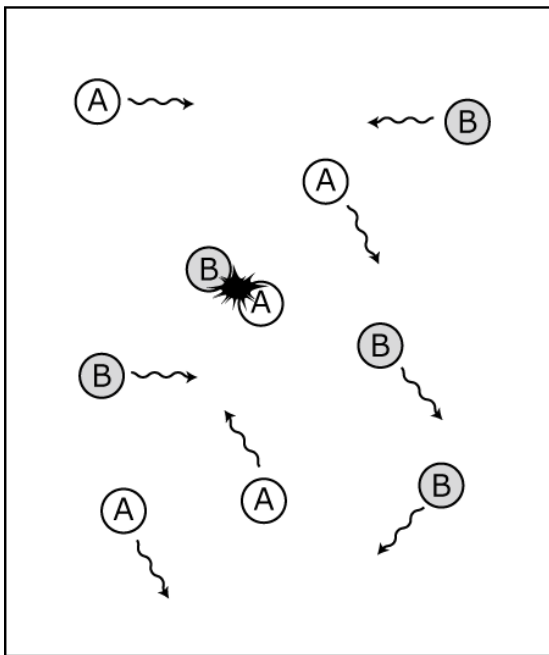
## 2. 反応温度

ふたつめの要因は反応するときの温度だ。反応の温度を上げたときに何が起こるのが重要だ。おもしろ理科教室第 1 回で, エネルギーについて考えたのを思いだそう。エネルギーとは, つまり「熱」だったね。熱, つまりエネルギーを得ると, 液体は粒子同士を繋ぐ「くっつく力」を振り切って, バラバラになってしまうことがわかった。ここで考えたいのは, どうやって「くっつく力」を振り切っているかだ。粒子同士は, ただ何となく離れていくわけじゃない。アニメーションで見た水の分子がバラバラになる様子を思い出して欲しい。あのとき最初は集まっていた水分子は徐々にふるえが大きくなって, ついにバラバラになった。つまり, エネルギーを得てバラバラになるということは, 粒子の運動エネルギーが大きくなるということだ。

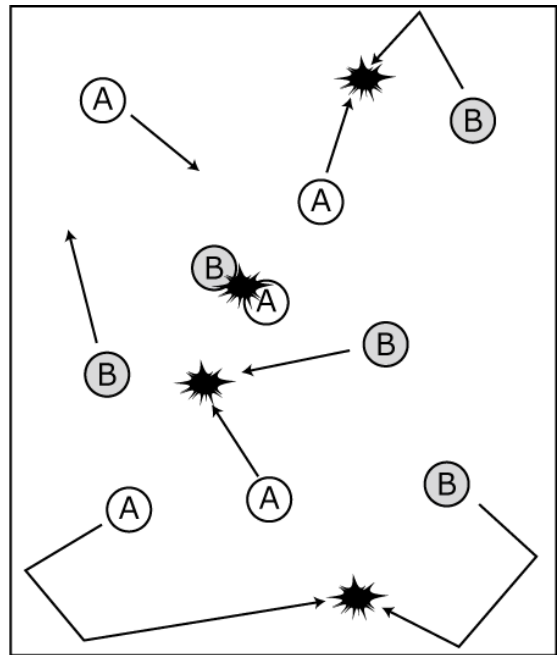
「運動エネルギー」, 科学的表現というのは往々にして小難しい言い方をするね。これは科学という学問と関係がある。科学で使う用語, 科学用語は, 誤用や誤解を避けるために, 意味がひとつに限定されている用語なんだ。たとえば, 「石鎚山は高い」という言葉で考えてみよう。これは普段の会話では何の問題もない。だけど, 科学的に考えるならば, 石鎚山は『何と比べて』『どれだけ』高いのが重要になる。石鎚山はエベレストよりは低いし, 富士山と比べても低い。ならば「石鎚山は高い」というのは何を意味しているのかということになるね。こんな風に普段の生活では意識しない言葉の定義が科学では重要になる。だから, ひとつひとつの用語の意味が決められていて, 正しい言葉を使わないと, 自分の考えを相手に伝えることができなくなってしまうんだ。さて, 運動エネルギーは, 簡単に言えば, 粒子が運動する速度だね。整理しておこう。

**粒子は, 熱を与えると, 運動する速度が速くなるんだ。**

とすると, 温度が反応速度に与える影響は図 7 のようになるだろう。



温度が低いとAとBの移動速度が遅く、反応が起こりにくい



温度が高いとAとBの移動速度が早く、反応が起こりやすい

図7. 温度による反応の起こりやすさの概念図

こうしてみると、温度を上げると化学反応速度は大きく向上しそうだね。実際に、**温度を 10℃ あげると、反応速度は 3~4 倍になる**ぞ。温度は化学反応に大きな影響を与えていることがわかるね。

課題：温度と反応速度の関係

ある化学反応では、反応温度を 10℃上げると、反応速度が 2 倍になることがわかっている。そこで、この化学反応の反応温度を 30℃上げて反応を行ってみた。反応速度は理論上何倍になるだろうか。

### 【3】信号反応について考えよう

#### ・インジゴカルミンとは

信号反応の前提になる概念について学んだので、いよいよ信号反応について考えよう。信号反応の元になるのは、**インジゴカルミン**という化合物だ。この分子の構造は以下のようにになっている。

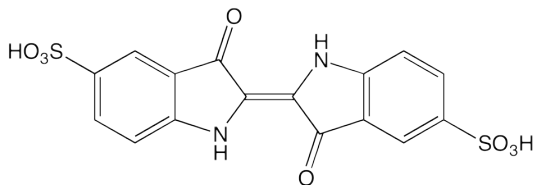


図8. インジゴカルミンの分子構造

インジゴカルミンは、きみたちも見たことがあるはずだと言ったら驚くかもしれない。実はインジゴカルミンには別名があるんだ。それは「**食用青色2号**」という名前だ。言葉でピンとくるだろう。インジゴカルミンは食品添加物として使われている。用途は菓子（和菓子、焼菓子、あん類）、冷菓などだ(横浜市衛生研究所資料より)。



インジゴカルミンは人類の手によって合成された合成添加物のひとつだ。ということは、何かお手本になった化合物があるんじゃないだろうか。そう、インジゴカルミンには、お手本となるべき天然の化合物があった。その化合物はインジゴだ。

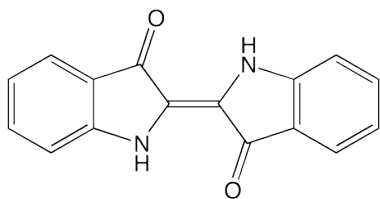


図 9. インジゴの分子構造

どうだろう。分子の構造が、そっくりだね。実は、このインジゴもきみたちは見たことがあるかもしれない。この化合物にも別名があるんだ。インジゴは日本では「藍」とよばれている。愛媛県の伝統産業である藍染めの織物「伊予絁」に使われる、徳島県の名物「阿波藍」の、あの藍だ。インジゴカルミンは藍を参考にして作られた。科学イノベーション挑戦講座プレチャレンジで学んだように、分子の構造は、分子の性質を予言する。インジゴは藍であり、当然「藍色」をしている。では、似た構造をもつ、インジゴカルミンは、どうだろう。そう、インジゴカルミンも青い色をしているんだ。分子の構造を知るとは、物質の性質を知るためにとても重要だね。

しかし、インジゴとインジゴカルミンとは、似ていない性質もある。インジゴはほとんどの液体に溶けない。だからこそ、染料として堅牢で優れているんだけど、これでは添加物としては使い勝手が良くない。だって、水に溶けないと混ぜるときに不便じゃないか。そこで、科学者はこう考えた。「なら、水に溶けるように設計すれば良い」。

科学者は、インジゴの両末端にスルホン酸基(SO<sub>3</sub>H)をつけたものを設計して、実際に作ってみた。すると、設計通り、水に解ける藍ができたんだ。これがインジゴカルミンだ。たったふたつのスルホン酸が追加されることによって、液体に溶けなかったインジゴが水に溶けるようになった。これはとても不思議だと思わないかい。そして、分子の構造の重要性、分子の設計の可能性についてわかってもらえたかな。

### ・信号反応は酸化還元反応だ

さて、信号反応は、このインジゴカルミンを酸化還元反応することで起こる。

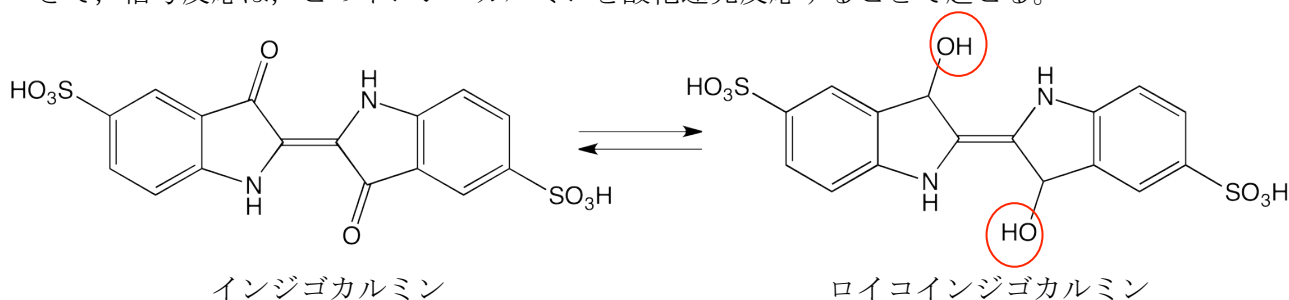


図 10. インジゴカルミンの酸化還元反応

課題：インジゴカルミンの酸化還元反応

1. インジゴカルミンの酸化還元反応は、酸素・水素・電子の何を基準として考えているだろうか。
2. インジゴカルミンがロイコインジゴカルミンになる反応は酸化反応だろうか、還元反応だろうか。

図 10 の化学反応を見るとおかしな点があるね。そう、酸化還元反応は常に同時に起こり、酸化反応と還元反応が独立に起こるはずがない。しかし、図 10 の化学反応式は、どう見ても酸化反応、還元反応が独立に起こっている。どうしてだろう。

これは一部の情報が省略されているからなんだ。普通の化学反応では、反応に関わる物質はすべて化学反応式に書き入れる。けれども科学者は、大事なところを強調するために、目的とする化合物の酸化還元反応のみを書く習慣があるんだ。だから、この化学反応式は、酸化還元反応の相手が書いてない。これを書き入れると次のようになる。

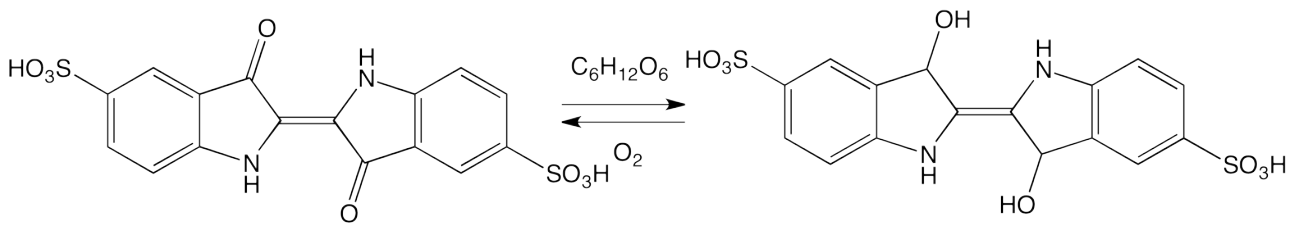
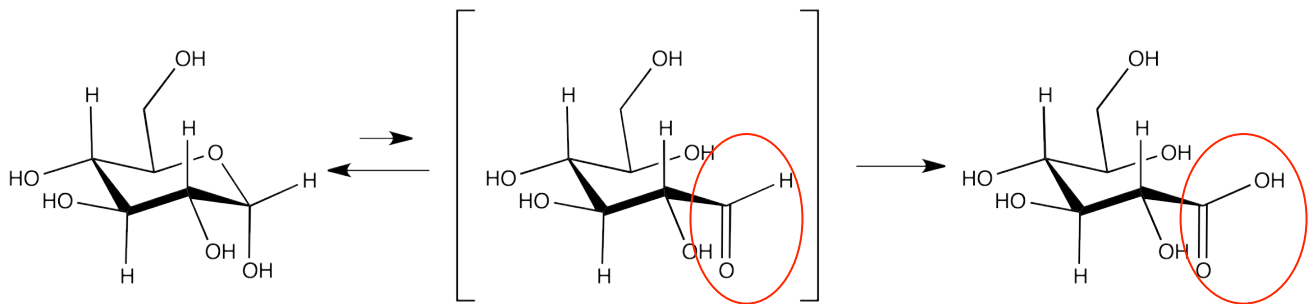


図 11. インジゴカルミンの酸化還元反応

ロイコインジゴカルミンからインジゴカルミンに戻るときには、酸素が相手になっていることがわかる。酸素を相手にしたときの酸化還元反応は、どちらが酸化で、どちらが還元か、わかりやすいね。

問題になるのは、インジゴカルミンからロイコインジゴカルミンへの反応じゃないだろうか。C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> という分子式があるけど、これはブドウ糖(グルコース)だ。ブドウ糖とインジゴカルミンとの酸化還元反応が起こって、インジゴカルミンはロイコインジゴカルミンへと化学変化する。このときブドウ糖では以下の反応が起こっている。



ブドウ糖(グルコース)

グルコン酸

図 12. ブドウ糖の酸化還元反応

この酸化還元反応では、ブドウ糖のアルコール(OH)が、グルコン酸ではカルボン酸(COOH)に酸化されている。このときの酸化還元は水素を基準としたものだね。アルコールの OH 基は水素を失ってアルデヒドの酸素原子になっているので、酸化されている。

ここで重要なのは、図 12 の真ん中の構造だ。[ ]で囲ってある構造は、不安定ですぐに構造が変わってしまうため、実際に見ることはできないことを示しているんだ。

課題：何が違う？

ブドウ糖と真ん中の構造を見比べて見よう。どこが違うだろうか。

よく見ると図 12 のブドウ糖と真ん中の構造を繋いでいる矢印の長さにもおかしなところがある。上の矢印は小さいのに、下の矢印は大きい。これは反応の起こりやすさを示しているんだ。つまり、ブドウ糖から真ん中の構造になる反応(ブドウ糖の環になっている部分が開くので開環反応という)はあまり起こらず、真ん中の構造はできると不安定なので、すぐにブドウ糖に戻ってしまうということだ。しかし、化学反応は極めて迅速に起こるので、この不安定な真ん中の構造になった瞬間を

狙ってブドウ糖をグルコン酸に酸化してしまう。だから、ブドウ糖は徐々にグルコン酸に酸化されていくんだ。

どうだろう。省略されていた相手がわかることによって、インジゴカルミンの酸化還元反応の正体が見えてきたらどうか。つまり、この酸化還元反応はひとつの反応に見えるけれども、実はふたつの反応が合わさっているんだ。

とすると、この信号反応をうまく制御するには、ふたつの反応の速度を、うまく制御しなくてはならないことになる。見た目は簡単な反応だけど、意外と沢山の条件を制御しなければならないかもしれないぞ。

このアルコールからアルデヒドへの酸化に加えて、さらにアルデヒドからカルボン酸(COOH)の酸化反応を加えると、これまたきみたちが時々眺めている現象を説明することができる。これはお酒を飲んだときの反応だ。お酒の主成分エチルアルコール(エタノール： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ )が、お酒の酔いの成分だ。身体にお酒が入ると、このエタノールが酸化されて、アセトアルデヒド( $\text{CH}_3\text{CHO}$ )になる。アルデヒドが身体の中でできると、顔が赤くなったり、気持ち悪くなったり、眠くなったりといった症状がでるんだ。アセトアルデヒドはさらに酸化されて酢酸( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )になる。酢酸を水に5%位溶かすとお酢になる。ということで、酢酸になればアルコールは無害化されるんだ。きみたちの親御さんが、晩酌をして真っ赤になっていたら、身体にアセトアルデヒドが溜まっているんだ。こうやってみると、目に見えない分子や化学反応を「見る」方法は意外と沢山ありそうだね。

#### ・色の違いと分子の構造の違い

インジゴカルミンの酸化還元反応によって信号反応が起こることはわかったけれども、色と分子構造についての問題はまだ解決していないね。もう一度、信号反応の色を確認しよう。

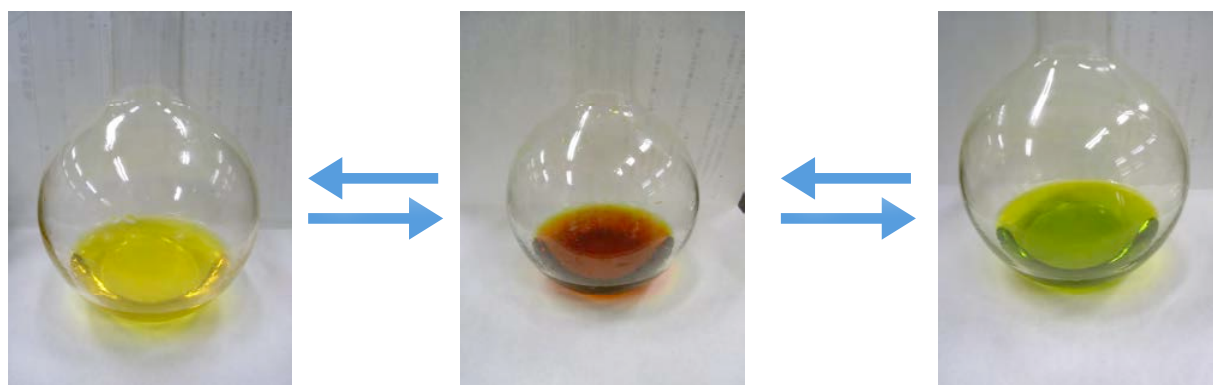


図13. 信号反応(広島大学大学院工学研究科エネルギー化学研究室資料より)

まずどちらがインジゴカルミンかということだけど、インジゴカルミンは本来は藍色だ。けれども、信号反応をする条件下、つまり強アルカリ性条件下では緑色をしている。つまり図13の右がインジゴカルミンだ。そして、ロイコインジゴカルミンは黄色をしている。つまり図13の左がロイコインジゴカルミンだ。これを使って、先ほど確認したインジゴカルミンの酸化還元反応による分子の構造の違いと比較してみよう。

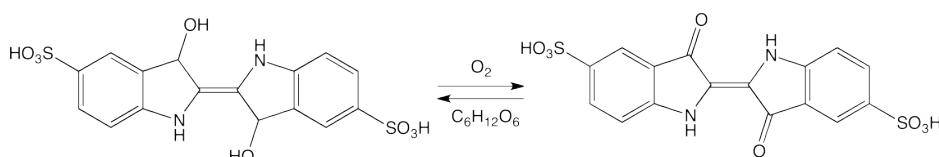


図14. インジゴカルミンの酸化還元反応

左がロイコインジゴカルミンで黄色、右がインジゴカルミンで緑色。ここまではいいんだけど、じゃあ、なぜ真ん中は茶色なんだろう。もし図 14 のようにふたつの構造をした化合物が存在していて、ロイコインジゴカルミンとインジゴカルミンとの量の違いによって、真ん中の色が見えるのだとしたら、その色はふたつの色が混ざった色になるはずだ。黄色と緑色が混ざったのだとしたら、黄緑色になるはずで、茶色になるのはおかしいとは思わないかい。

とすると、この反応は実はふたつの構造が酸化還元で行き来するのではないかもしれないぞ。たとえば、次のような反応が起こっているとすればどうだろう。

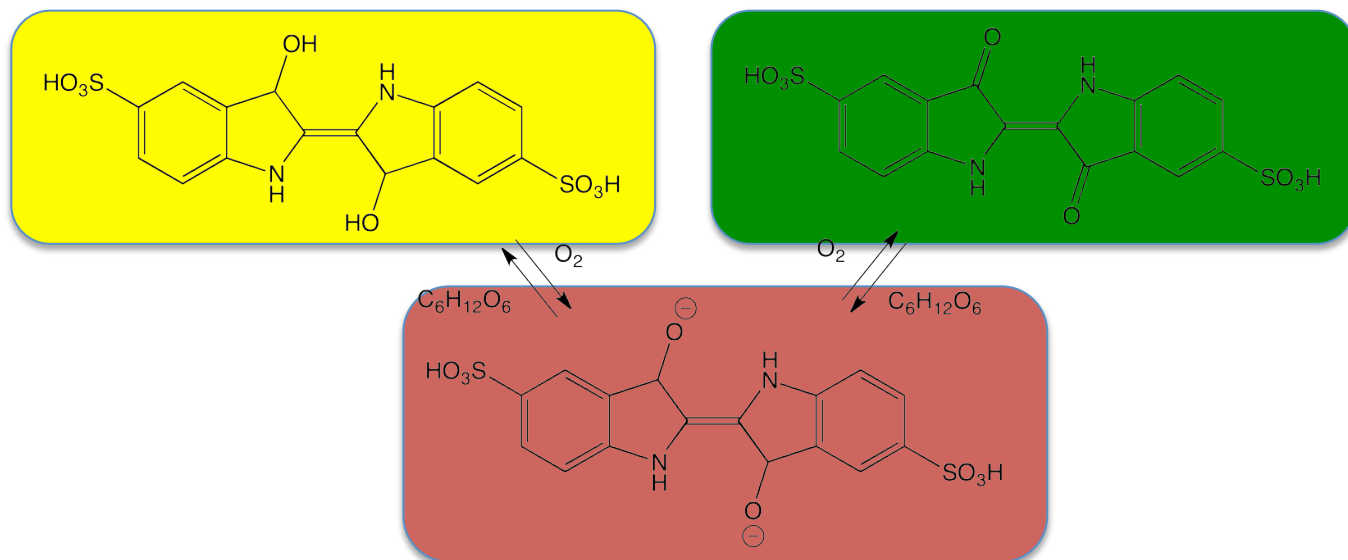


図 15. インジゴカルミンの信号反応の分子構造変化と色の関係

第 3 の構造があって、この構造は、インジゴカルミンともロイコインジゴカルミンとも異なっている。構造が異なっているので、分子の性質、つまり見える色も異なっていて茶色に見えるのだとすれば、説明はつく。どうだろう。簡単に見えたはずの反応が、複雑になってきたぞ。

課題：信号反応について調べてみよう。

インターネットを使って信号反応について調べてみよう。そして、自分だったら、この信号反応の色の変わり方をどのように制御してみたいと思うかを考えて、そのために必要な反応条件についてまとめよう。

科学イノベーション挑戦講座第 1 回では、県内の 11 校の高校(新居浜東高校, 新居浜西高校, 西条高校, 今治北高校, 弓削高校, 松山北高校, 伊予高校, 松山西中等教育学校, 大洲高校, 八幡浜高校, 愛大附属高校)から来た 48 名の高校生のチームに君たちが入って、一緒にこの実験に挑戦してもらおう予定だ。高校生は、同じ実験に対して、どのように考えるだろうか。

実験をしなくても予想できることは何だろう。実験によって確かめられることは何だろう。そして、実験の条件を制御するためには、どんな注意が必要だろう。自分とは違う考え方は、それが合っているか間違っているかは関係なく、とても参考になるはずだ。是非、実験を楽しんで欲しい。

## 参考文献

- ・マンガ化学が驚異的によくわかる ラリー ゴニック (著), クレイグ クリドル (著), 小林 茂樹 (翻訳) 白揚社
- ・化学の歴史 アイザック・アシモフ著 ちくま学芸文庫
- ・科学は歴史をどう変えたのか マイケル・モーズリー&ジョン・リンチ著, 久芳清彦訳 東京書籍

- ・実感する化学 A Project of the American Chemical Society 訳：廣瀬千秋 NTS 出版
- ・科学の方法 中谷宇吉郎 岩波新書