

第三章 分子と化合物

(化学パズル)

構造式 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の赤い化学物質を水の入ったビーカーにいれ、かき混ぜて薄い赤色の溶液にします。その溶液を取り、紙に何かメッセージを書きます。紙が乾くと、その言葉は見えなくなります。秘密のメッセージを書いたこととなります。しかし、その紙をろうそくの火にかざすと、字が再び現れます。何が起きているのでしょうか？どんな化学物質が関係しているのでしょうか？化学反応と呼ばれるこの過程は他の化合物でも起こるのでしょうか？このマジックインクの成分—水和塩化コバルトと水—が絶対に必要でしょうか、それとも他にもそのようなものがあるのでしょうか？

フランスの抽象画家ドロネ(Robert Delaunay)(立体派の絵画に律動的色彩を導入して Orphism を創始)は “彩は表現形式であり、主題である” と云っています。彼の絵画を見ると、色をいかに旨く使っているか分かるでしょう(Fig. 3.1)。どうして絵画に目を引かれるのでしょうか？確かに、一つは鮮やかな色にあります—赤、黄、橙、青、緑。そのような絵画は化学者にとっても興味があります。それは美的に好ましいのと、全ての色彩が色の付いた化学物質から生まれているからです。これらの色彩はこの教科書のカラー写真の元でもあります、他に乗用車の塗料、衣料の染料の色、この章の冒頭の写真にある秘密のメッセージを書くのに使ったインクなどです。

Fig. 3.1 ロバート・ドロネによる “円のホルム”

最近では、色素の元になる多くの化合物は実験室で作られものです。実際、特別な用途のために新物質を合成することは、化学の今日的に非常にエキサイティングなことです。この章では化学物質の主なものを紹介し、後の章ではどのくらい沢山の化合物が合成できるか示します。

3.1 分子として存在する元素

現在、111 種類の元素が知られています。化学者はこれらの元素の大部分については純粋な物を持っています；その例外は高い原子番号の元素です、それらは放射性で、非常に短い寿命です。Fig. 2.14 からわかるように、大部分の元素は金属で、大抵は室温で固体です。固体状態では金属はきっちりと詰まった原子から出来ています。これが金属の密度が他の元素より一般に大きい理由です。

非金属は室温で固体、液体、又は気体です。8 族の希ガスのように、あるものは原子として存在し；他は二個又はそれ以上の原子からなる分子として存在します。これらのいくつかは二原子分子で、それには水素(H_2)、窒素(N_2)、酸素(O_2)、及び 7A 族(F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2)のハロゲンが含まれます。他は二原子以上の分子として存在します(Fig. 3.2)；例えば硫黄やリンがあります。硫黄は S_8 分子、リンは P_4 分子です。

Fig. 3.2 多原子分子として存在する非金属元素。これらの元素の多くには同素体があります。硫黄に、最も多くの同素体があります。

酸素、リン、硫黄、炭素もまた興味があります、これらの元素は同素体(allotropes)と呼ばれる様々な形で存在します。酸素の同素体は O_2 (sometimes called dioxygen)と O_3 、オゾンがあります。後者は刺激性のある、特徴的な臭いを持った不安定な青色の気体です。実際、そのものは最初臭いから見付き、その名前もギリシャ語の ozein, (=to smell)に由来します。この特異な臭いを雷雨の折り、気付いたかもしれません。稲妻が大気の O_2 をオゾンに変えるエネルギーを持っているからです。

リン元素の最もありふれた同素体は四原子分子(P_4)です；白(黄)リンとして知られています(Fig. 2.14)。他の二つの同素体は赤リン(Fig. 3.3)とあまりなじみのない黒形でリン原子のより複雑な網目構造で出来ています。

Fig. 3.3 白リン(黄リン)と赤リンは同素体。白リンは P_4 分子から出来ており、赤リンは P_4 分子がお互い繋がった構造です。

硫黄の良く知られたレモン黄色型は冠状の S_8 分子です。(Fig. 3.4)これを 150°C 以上加熱すると、硫黄はまず融解し、開環して S_8 直鎖を生成します。この鎖はお互いに結合して、より長い鎖を形成し、鎖がもつれて粘調な、あるいはシロップ状の液体となります。もっと高温に加熱すると、硫黄の鎖は短くなり液体に変わ

り、これを水にゆっくり注ぐと赤橙色の糸になります。プラスチック硫黄とも呼ばれる型です。

Fig. 3.4 硫黄の同素体。(a) 室温で鮮黄色の固体。超顕微鏡的レベルでは8員環の詰まった構造。(b) 加熱すると開環してプラスチック硫黄と呼ばれる直鎖型になります。

終わりに、純粋な炭素は、二つの良く知られた型の炭素原子の繋がった網目としてみることが出来ます：即ちグラファイトとダイヤモンドです。(Fig. 3.5) グラファイトでは炭素原子は連結した六角形環の平坦なシートとして並び、炭素はそれぞれ同じ層で他の3つの炭素に結合しています。これらの環のシートは互いに弱くくっついて、お互いの層では滑りやすくなっています。それでグラファイトは柔らかく、滑らかで、鉛筆になるのです。(鉛筆の“鉛”は元素の鉛ではありません。実際は、粘土とグラファイトの混合物で、書くときにグラファイトシートの軌跡を残します) それに加えて、化学者と技術者はグラファイトのシートを繊維に加工し、テニスのラケットや釣竿、ヨットのマスト、ブーム(帆のすそを張る円材)の強靱な複合材料として利用します。(Fig. 3.6)

Fig. 3.5 炭素の3同素体：グラファイト；ダイヤモンド； C_{60} 、バックミンスターフラーレンあるいは“バッキーボール”。

Fig. 3.6 グラファイト繊維で出来た製品。

ダイヤモンドの炭素原子も環の六稜が連結した配置ですが、各炭素原子は他の4つの炭素原子と結合し、正四面体の隅にあり、中心の炭素を取り囲みます。(Fig. 3.5) 二つの重要な結論は：(1) 原子が、この場合もグラファイト層と同じように、固体全体に結合を張り巡しています。しかし、(2) 炭素原子の環は決して平面ではありません。この構造がダイヤモンドを極端に硬く、グラファイトより密度を大きく(ダイヤモンド： 3.51 g/cm^3 , グラファイト： 2.22 g/cm^3 for graphite)、そして化学的にグラファイトより反応性を小さくします。ダイヤモンドは熱伝導体としても優れています。この性質は、その堅さと相まってドリルの先や切断具として利用されます。実際、工業用ダイヤモンドの需要は非常に多く、地中から掘り出されるのに加えて、毎年60トン以上のダイヤモンドが合成されます。

この10年、化学での最も素晴らしい発展の一つにダイヤモンドの薄膜生長法の発見があります(Fig. 3.7)。そのような膜は非常に有用で、熱は伝えるが、電気を通さない、極めて硬い膜で被覆された表面の材料が作れます。ダイヤモンド薄膜の開発は、プラスチックの発明以来の材料の分野での最も大きな進歩と考えられます。

Fig. 3.7 化学蒸着法(CVD)で成長させたダイヤモンド薄膜の走査電子顕微鏡写真。

ダイヤモンドとグラファイトは何世紀にもわたって知られており、構造の良く分かった炭素の同素体は、これらだけとされて来ました。しかし1980年後半に、もう一つの型の炭素が黒い煤の成分から見つけられました。十分な酸素が存在しない条件で、炭素含有物質を燃した時に集められた物質の中からです。この物質は60個の炭素原子からなる美しく、規則正しい構造の分子です(Fig. 3.5)。

C_{60} 分子の構造は炭素原子の“球状の”籠です。よく見ると中空のサッカーボールに良く似て、その表面は6員環に5員環が繋がって出来上がっています(別の型の炭素や、炭素を含む多くの化合物に見られます)。その形は革新的なアメリカの哲学者で技術者の R. Buckminster Fuller による数年前の幾何学的ドームの発明を思い起こさせます。それ故、同素体の公式な名前は buckminsterfullerene(日本語でフラーレン)、しばしば C_{60} 分子“バッキーボール”と呼びます。今では、それは炭素籠の大きな家族の一員に過ぎず、もっと大きな C_{70} 及び C_{240} , C_{540} , C_{960} などのジャイアントフラーレンもあります。けれども最初の C_{60} が、煤の塊のなかで最も多く見つけれられる分子です。

バッキーボールの発明者の一人の Rice 大学の Richard Smalley 教授は“化学者にとって「この発明は」クリスマスの贈り物のようなものだと言っています。フラーレンの特別な性質から、微小なボール・ベアリング、軽量蓄電池、新しい潤滑剤、新しいプラスチック、ガン患者のための抗癌療法(籠の中に放射性原子を包み込むことによって)、など沢山の使い道が提案されています。ある化学者は C_{60} を分子の“Swiss army knife”にたとえています。

練習問題 3.1 同素体