

どれほどの人が「モリブデン」という物質について知っているだろうか。モリブデンという名前さえも聞いたことのない人が多いだろう。飛行機や自動車などのフレームに使われる合金に含まれていたり、白熱電球のフィラメント部材や半導体関連部品などとして使用されていたり、現代の生活に欠かせない物の一部となり活躍している。また、私たち三人は自身の課題研究の中で、酸化モリブデンを活用している。私たちの通っている学校はSSH(スーパーサイエンスハイスクール)に指定されている。私たち三人はグループを作り、SSHの活動の一環として「人工宝石の製造」という研究を行っている。中学一年生で研究を始めてから、試行錯誤を重ね、酸化モリブデンの使用に至った。私たちの研究の中で、モリブデンはとても重要な役割を果たしているのだ。そこで、生活の中で役立つモリブデンと、私たちの研究の中で役立つモリブデンについて述べたいと思う。

初めに、モリブデンの歴史について触れたい。元素名の由来は、ギリシャ語で「鉛」の意味を持つモリュブドスを語源としている。モリブデンを含む天然鉱物のモリブデナイト (MoS_2) はグラファイトとよく似ていることから同一の鉱物と認識されていたようだ。モリブデナイト (輝水鉛鉱) はグラファイト (石墨) と同じ六方晶系という結晶構造を持ち、劈開面の平滑さは共に完全である。昔の人はこのよく似たモリブデナイトとグラファイトを色で見分けていて、鉛色の鉱物をモリブデンと呼んでいた。1778年に、スウェーデンのK・W・シェーレはモリブデナイトとグラファイトが別の鉱物であることを明らかにした。そしてモリブデナイトに含まれる主な元素をモリブデンと命名した。つまり、モリブデンという元素の名前の由来は原鉱石モリブデナイトである。近年

では新元素が発見されると公表され、ニュースなどを通して瞬く間に多くの人を知ることとなる。しかしモリブデンが発見された当時は現代とは違い、新元素の情報は一部の科学者のみで共有されていた。そのためモリブデンは19世紀までは科学者の実験室で使われただけで一般の人々の日常生活の中で使われるようなことはなかった。当時はモリブデンの特性を活かした製品を作る技術がなかったからだろう。今は活躍しているモリブデンが科学者の間でしか共有されていなかったことが非常にもったいないと思う。その後、時代が進むにつれて今日のように多くの工業製品に使われるようになった。

モリブデンが生活の中で活用される理由は、モリブデンの持つ二つの大きな特徴にある。一つ目の特徴はモリブデンの「強さ」である。モリブデンは金属の中でも五番目に高い融点を持つ。モリブデンの融点は約 2600℃ である。これはタングステン、レニウム、タンタル、オスミウムに次ぐ高さである。そのため、製品にすると耐久性に優れ、多くの合金の添加剤として使われている。また、モリブデンから作られるクロムモリブデン鋼という合金は強度にも優れているため、車や飛行機等乗り物のフレームなど重要な部材にも使用されている。鉄鋼はモリブデンを添加することで錆びにくくなり強度も増す。特にステンレス鋼にモリブデンを添加したモリブデン鋼はその優れた特性を活かし切れ味鋭い包丁やジェット機の脚やロケットのエンジンなど特殊機械の材料に使用されている。モリブデン鋼は、実はこのように、自分たちの身の回りにもたくさん使われているのがわかる。例えば、今まで私たちは何も考えずに飛行機に乗り、到着後は旅行について考え、飛行機に使われている材料のことなど頭の隅にもなかった。しかし離着陸の衝撃にも耐えることが出来る飛行機の素晴らしさを、モリブデンを知

ることで理解した。

モリブデンの二つ目の大きな特徴は電気抵抗が小さいことだ。モリブデンの体積抵抗率は $5.0 \mu\Omega \text{ cm}$ (0°C の時) であり、電気をよく通す銅の $1.55 \mu\Omega \text{ cm}$ (0°C の時) に非常に近い。電気抵抗が大きい水銀の体積抵抗率 ($94.1 \mu\Omega \text{ cm}$ (0°C の時)) と比較すると、モリブデンは銅に匹敵するほど電気抵抗が小さく、電気を通しやすいということがわかる。一方、モリブデンが高温になった時、モリブデンの表面に生成される酸化皮膜である酸化モリブデンは、高絶縁体であるという特徴がある。この特徴を利用した工業製品にモリブデン避雷器がある。避雷器とは雷が落ちたときに発生する雷サージと呼ばれる大きな電圧で、電気機器が壊れないように雷サージを地表に逃がすための機械である。一般的な避雷器はスイッチなどが組み合わされてできているが、モリブデン避雷器は+の電極と-の電極それぞれに酸化皮膜で覆われたモリブデンがついており、その二つの電極が接している。電極の接触面は高絶縁体であるため、低電圧の電気は通らない。しかし、普段も非常に微量の電気が常に流れており、雷サージがいつ来ても対応できる状況が整っている。そこに雷サージが来れば、二つのモリブデンの接触面の酸化皮膜を破り、大きな電気が流れる。大きな電気が流れたときに発生するエネルギーで酸化皮膜が再生される、ということが繰り返され、何度でも利用できる。この避雷器の利点は避雷器にスイッチなどの機械部分がないため長寿命であることだ。設置が難しい場所では修理を何度もする必要がないため、有効的だ。このように、モリブデンは私たちの生活の中で役立ち、現代社会では欠かせない物となっている。

モリブデンと私たちの出会いについて触れたいと思う。現在私たち三人が SSH 活動の中で行っている「人工宝石

の製造」という研究では、アルミ缶からルビーを作り出すことに挑戦している。その研究の中で、私たちはモリブデンと出会った。私たちの実験ではアルミ缶からルビーの原料となる酸化アルミニウムを作り、そこに赤みを付けるために酸化クロムを混ぜて加熱している。しかし、酸化アルミニウムの融点は非常に高く、 $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ を超える。そこで、私たちはこの酸化モリブデンを、融点を下げる物質として使っている。人工宝石の製造には様々な方法があるが、私たちはフラックス法という方法を使い実験をしている。この製造方法の中で一番重要なのはフラックス、融剤だ。ルビーを作るための酸化アルミニウムの融点は $2072\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、酸化クロムの融点は $1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、私たちの学校の理科実験室にある普通のガスバーナーではそれを融解することができない。その問題を解決するために、様々な物質をフラックスとして用いた。まず、私たちは氷晶石をフラックスとして利用した。融点が $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ の氷晶石を加えることで酸化アルミニウムと酸化クロムの融点を下げることが出来た。しかし酸化クロムを使用しているにも関わらず赤色が出ず、黄色くなったり緑色になったりしてしまった。私たちは加熱温度や加熱時間を工夫したが、黄色の中に僅かな赤色を見つける程度にしかならなかった。しかも透明感が無く、結晶化をさせることも出来なかった。様々の試行錯誤をした後に、信州大学の手嶋先生方が書いた「酸化モリブデンフラックス蒸発法による大型両錐ルビー結晶の育成」という研究論文に出会い、酸化モリブデンがフラックスとして使用できることを知った。酸化モリブデンの融点は $795\text{ }^{\circ}\text{C}$ と氷晶石より低く、また融解しやすい。現在、私たちは酸化モリブデンの特性を活かし、酸化アルミニウムと酸化クロムの融点を下げるフラックスとして利用している。酸化アルミニウムと酸化クロムへ酸化モリブデンを加え

チーム名：人工宝石の製造チーム 学校名：東京学芸大学附属国際中等教育学校 元素：モリブデン
「ルビーとモリブデン」

加熱すると全体に赤色が僅かに出る。氷晶石をフラックスとして使用した時には出なかった酸化クロムの赤色が、フラックスを酸化モリブデンへ変更したことにより引き出すことが出来た。今後は、透明感を出すことと結晶化させることが私たちの課題だ。

私たちが作り出すことを目標としているルビーは、レーザーの発振や時計の軸受けなど様々な工業製品として使用されている。中学校の理科実験室でもアルミ缶からルビーを容易に作り出すことが出来るよう、これからも実験を続けていきたい。また、このルビーの研究がどのようにして我々の身近で役に立ち、世界の人のためになるかをしっかりと考え研究との向き合い方を見直していきたい。

モリブデンとの出会いが、私たちの研究を活気づけた。モリブデンについて調べるにつれ、モリブデンの持つ様々な特性に驚く。モリブデンが私たちのすぐ身近な物の多くに使用され、現代社会では欠かすことが出来ない物質であることは間違いない。モリブデンという聞きなれない元素との出会いのおかげで、私たちの研究、そして研究者としての私たちは大きく成長するだろう。