

ケミストリーをめぐる雑感



随 筆

實 川 浩 一 郎*

Miscellaneous Thoughts on “Chemistry”

Key Words : Paradigm Shift, History, Green Revolution, Periodic Table

自分が長年化学の世界に身を置いていることもあって、“Chemistry”の語は「化学」を意味するものとばかり思っていた。ところが最近「ケミストリーが合う」という表現を耳にする機会が増えて来た。Oxford 英英辞典によれば、“relationship between two people”の意味もある。日本語では「相性」と訳すべきであろうか。「化学」がどのようにして「相性」につながったのか、その経緯は言語学を専門とする人に聞いてみないと分からないが、「混ぜ合わせて変化する」ところかと思う。異なる分子(原子)と分子(原子)がぶつかって、もともとあった分子と全く性質の異なる新しい分子が出来上がるのが化学である。そうすると2人の人の中にあるのも(漢字では人間と書く!)ケミストリーである。今回は化学と他の分野との関わりについて、つれづれのままに化学に関するよしなしごとをそこはかたなく書き付けてみたい。

筆者の幼い頃、といっても小学校高学年くらいの時期、本を読むのが好きであった。古事記や今昔物語など、小学生向けに書き直された日本の古典を図書館から借りて読んだものである。姉がいることもあって、自分をスサノオノミコトになぞらえ、兄弟喧嘩をして姉であるアマテラスオオミカミが岩戸に隠れるのは、弟が強いに決まっているからだと思っ

ていた。学修を深めていくにつれて、この岩戸隠れは日食のことであると何かの本で読んで古代人の自然感を思い至った。さらに、スサノオノミコトが退治したヤマタノオロチは出雲の国のかんながしであり、たたら製鉄で得られる玉鋼から日本刀が作られることが、ヤマタノオロチの腹から出てきた草薙剣(天叢雲剣)を意味することを知った。古事記や日本書紀は単に暴れん坊であるスサノオノミコトの武勇談を書いているのではなく、古代人の自然現象観察や技術文明論を書いている。こんな見方があることは誰も教えてくれなかったけれども、全く関係ないものが実は深いところにつながっている。なるほど学問は面白いと気づいた次第である。

大学時代は専門知識を体系化するだけで他の分野に気を回す余裕も無かったのであるが、年を経て色々な雑学が身に付いてくると、思いもかけないもの同士がつながったりする。後になって調べてみると、筆者が初めて見いだしたのではなく、既にどこかで誰かが書いていることであるが、それを見つける前に思いついたこともある。化学、特に触媒化学に関して思いついたことは筆者の研究に関するものでプロの世界の考察対象となるが、化学に関連した物質と歴史の関係を知ることは、アマチュアの世界の楽しいウンチクである。

「青丹よし」は奈良にかかる枕詞として、奈良の都の建物が青色や朱色に塗られていて華やかな様を表すことから来たと、高校時代に古典で教わった。朱色(丹の色)は塗料として用いる辰砂の色である。この丹の字は丸葉の〇〇丹と同じであり、不老不死の霊薬(仙丹)を作る錬丹術に通じる。錬丹術では加熱すると赤褐色の辰砂(硫化水銀)が酸化水銀から金属水銀へ変化し、さらに硫黄と反応させると元の硫化水銀に戻る不思議な変化をする水銀が、不老



* Koichiro JITSUKAWA

1953年10月生
大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期
課程修了(1983年)
現在、大阪大学大学院基礎工学研究科
物質創成専攻 教授 工学博士
触媒化学
TEL : 06-6850-6261
FAX : 06-6850-6261
E-mail : jitkk@cheng.es.osaka-u.ac.jp

不死の妙薬になる力を持っていると思われていた。水俣病の原因が有機水銀であることが解明され、殺菌剤マーキュロクロム（年配の方にはなつかしい赤チンのこと）も水銀を含む化合物であるために使われなくなった現在とは隔世の感がある。また日本各地に点在する丹生という地名は辰砂の産地で水銀と関係がある。奈良東大寺の大仏は、現在ではブロンズが表に出た落ち着きのある色をしているが建立当時は、金と水銀のアマルガム合金を表面に塗布して加熱により水銀を蒸発させ、メッキする方法で金色に輝いていた。そうなると大仏周辺には水銀蒸気が滞留して環境によくはない状況になっていたと推定できる。奈良の都は水銀まみれであったかもしれない。

さらに、歴史に関係した事項というよりも、化学物質そのものが歴史を作ってきたことは皆様ご存知ですか？ 文明の背景となる科学技術は、化学物質の性質に依存している。「リッチに貸そうかな、まああてにすな、ひどすぎる借金」と、高校時代に覚えさせられたイオン化傾向の語呂合わせが、金属精錬技術の進歩と関係しており、世界の歴史を動かしてきた。

日本史では弥生時代に青銅器と鉄器が同時に入ってきたために明確ではないが、世界史では青銅器時代と鉄器時代とが区別されている。青銅器時代の前は石器時代で金属は関係ないが、金はこの時代から装飾品に使われていた。鉄製の武器を使ったヒッタイトが、青銅製の武器しかもたないメソポタミアを征服したのは世界史では有名な話である。人類は金属を、金、銅、鉄、の順に利用してきた。さらに時代がさがると、アルミニウムになり、現代では軽金属であるマグネシウムやリチウムを使いこなしている。石器時代—青銅器時代—鉄器時代という先史時代を区分する分類に準じれば、20世紀はアルミニウム時代、21世紀はリチウム時代と言えるかもしれない。新時代のエネルギーを支配するバッテリーのキー材料は酸化還元電位が元素の中で最も低いリチウムであり、電荷/イオン半径比が小さいために電極の負極材料として最適で、一次電池、二次電池の両方でリチウム電池の開発が続けられている。

先の語呂合わせに戻れば、各金属の標準電極電位はリチウム (-3.05V)、マグネシウム (-2.36V)、アルミニウム (-1.68V)、鉄 (-0.44V)、銅 (+0.34V)、

金 (+1.52V) となっており、金は最も貴でリチウムは卑とされている。電位が卑であるリチウムがイオン化し易く、電位が貴である金が最もイオン化し難い。つまり、金属状態で安定に存在するのは電位の高いもので、金は環境中で空気に酸化されず水とも反応せずに安定であり、通常は金属の状態（砂金の場合が多い）で産出する。「鉄は腐る」と言われて酸化されやすく、その使用には錆び止めなどの表面処理やステンレスなどの合金化が必要である。マグネシウムやリチウムは水と反応するので、金属状態での使用は難しい。有名なツタンカーメンの面は金でできているので3000年以上昔のものが残っており、日本でも志賀島で発見された金印をはじめとして銅鏡や銅鐸銅矛なども多数出土しているが、古墳時代の鉄剣で現在まで残っている物はまれである。

人類の科学技術レベルが低い時は得られたままの状態で使用できる金属のみを利用していましたが、レベルが上がるにつれて酸化状態にある金属鉱石を還元できるようになった。鉄は「たたら製鉄」の方法で鉄鉱石（砂鉄）を還元し作ることができるが大量生産には適さず、コークスを使った高炉法が確立するまでは十分な量が確保できなかった。鉄より卑な電位にあるアルミニウムは熔融電解でしか精錬できず、19世紀の終わりまでは大量に得ることができなかった。そのため一時は「粘土からの銀」と言われる程で、アルミ食器は銀食器より貴重でありアルミニウムは貴金属扱いを受けていた。それが今では道に落ちていても拾われない1円玉になって、技術の発展は価値観の大転回を生じたようである。また、第2次世界大戦後、多くのジェット旅客機が空を飛んで世界が狭くなったのは、その構造を形作るアルミニウム合金が容易に得られるようになったおかげである。このように直接利用—コークス還元—電解還元と、人類の技術力の進歩にともなって卑な電位にある金属も精錬できるようになり、今では周期表にある元素のほとんどを意のままに操れるようになった。金属それぞれの特性を有効利用する方法が科学技術の発展とともに開発されてきた結果、人類はより文化的で便利な生活を過ごせるようになった。

化学物質が貢献する世界の発展は、金属の有効利用にとどまらない。「戦後強くなったのは女性と靴下」と言われたのは50年程前である。昔靴下は絹でできていてすぐに破れたが、それと同じポリアミド構

造を持つ人工高分子であるナイロン製のストッキングは伝線し難くなった。この繊維をナイロンと名付けたのは開発したデュボンであるが、伝線しないを意味する“*No Run*”から“*Nylon*”となった説は本当のようである。「石炭と水と空気から作られ、鋼鉄よりも強く、クモの糸よりも細い」というキャッチフレーズは、天然繊維しかなかった分野に新しい世界を開いた。ナイロン以外の様々な高分子も人工的に合成されており、これらによって人類必須の衣食住のうちの衣と住を豊かにした。ペットボトルもその一例である。「持ち歩くのに便利でペットみたい」なボトルだからペットボトルというのではなく、ポリエチレンテレフタレートという物質名の頭文字 (*PolyEthylene Terephthalate*) をとってPETと呼ぶ。ガラス製の重たい瓶よりもポリエステル樹脂製の軽い容器になって飲料などの持ち運びが便利になった。

上述したようにジェット旅客機にはアルミニウムをはじめとする軽金属が使われて来たが、実は炭素の方がもっと軽くて強い材料を作れるので、最新の旅客機の構造材は炭素繊維がとってかわりつつある。またその製造では日本企業が活躍している。炭素繊維は比重が1.8であり、鉄の7.8やアルミニウムの2.7と比較して軽い上に錆びずに化学的に安定という特徴があり、従来の金属材料を置き換える材料として本命視されている。さらに、炭素繊維の究極はカーボンナノチューブとみなせる。これは現在分子レベルで構造が分かっている材料であり、まだ半分SFの世界にある宇宙エレベーターを実現できる素材になると期待されている。宇宙空間に物質を運び上げるコストが現在のロケットを使うよりも200分の1程度になると見積もられ、ロケットを使うよりもはるかに簡便に、真空無重量の宇宙空間を利用できる。我々の目の黒いうちに実現することは無いであろうが、カーボンナノチューブを伝ってエレベーターが宇宙と地球とを往復できれば、人類が今までとは全く異なる活動領域に展開できる可能性もっている。未来は歴史ではないが想像するだけで楽しくなるし、また創造を育むものである。

科学技術が発達するにつれてそれまで扱えなかった物質を手のうちに、人類の文化が進化してきた。それらの中で、化学が人類に貢献した最大のことを紹介しておきたい。小学校時代に、植物の成長

に必要な三大栄養素は「窒素・リン酸・カリ」と習った記憶がある。作物の成長に必要な肥料として窒素分が必要であるが、実は空中の窒素をそのまま養分として利用できる植物はマメ科などに限られていて、人類が主食とする稲や麦の成長には窒素肥料が必要である。例えば昔、田んぼにカミナリが落ちると歓迎されたのは、空中放電によって窒素から硝酸塩が生じ、それが肥料となって稲の成長を促す(雷の字の由来)からである。

歴史的には日本では昭和のはじめの時代を最後として飢饉が起こっていない。また世界でも第2次大戦終結後の先進国では起こっていない。ポーローグ(1970年ノーベル平和賞)が指導した緑の革命によって新しい農業技術を開発し、特に発展途上国で穀物の増産が可能になったことによるが、その背景には人類史上最大の発明である空中窒素の固定化によるアンモニア合成法(ハーバー・ボッシュ法)がある。鉄触媒を使って窒素と水素から得られるアンモニアを原料にして、尿素などの肥料やTNTなどの爆薬が製造される。肥料をあたえることで穀物の収量が増加して、人類が飢えなくなった。ハーバーの墓銘碑には「空気からパンを作った男」と記されているそうである。爆薬も戦争に使うことはさておき、土木工事に使われて農業環境が整備され穀物の収量増加に寄与している。西暦1000年にほぼ3億人と見積もられていた世界人口は、1900年には20億人に達し、緑の革命が世界に行き渡った2000年には60億人になっていたと推定されている。100年間で40億人も人口が増えたのは、ハーバー・ボッシュ法のおかげであると言っても過言ではない。

科学技術分野のパラダイムシフトとして、コペルニクスやガリレオの地動説、アインシュタインの相対性理論、ダーウィンの進化論、ワトソンとクリックのセントラルドグマなどがよく知られている。20世紀に完成した量子力学もその一つである。このような自然科学のパラダイムシフトは、どう言う訳か物理や生物の分野のものが有名である。しかし「ちょっと待て」というのが化学に携わる者の言い分である。人類の生活文化に関するパラダイムシフトはすべて化学物質がリードして来た。化学産業が社会に提供する素材は、すべて有機化合物・無機化合物である。飛行機も剣も電池もストッキングも肥料も、

その他、形あるものを構成する素材が置き換わって行くと、きれいになったり安全になったり便利になったり、人類の生活と文化を豊かにする。世界が狭くなったと感じるのも明るくなったと感じるのも、

パラダイムシフトである。化学は学問的には断層的な変化を起こさないけれども、いつのまにか世の中が昔と変わってきていたという、もの(=物質)の変化を陰で支えている縁の下の力持ちである。

