

鉄の話題 インターネットより採録 ポストコロナ カーボンニュートラルの新時代へ向けて

1. CO₂を吸い込むコンクリートに熱視線 鹿島、カーボンニュートラル追い風に普及加速へ
2. AIの“限界”を知る鉄鋼業界。日本製鉄・JFEスチールが打ち出したDX戦略の中身
3. 【金属の世界史】古代には「金」よりも高価だった意外な金属とは？

【鉄の話題 1 インターネットより THE SANKEI NEWS 2021.9.27.】

CO₂を吸い込むコンクリートに熱視線 鹿島、カーボンニュートラル追い風に普及加速へ

<https://www.sankei.com/article/20210927-TSR0355VU5DBZJ7207PQLTU5KQ/>

地球温暖化を引き起こす元凶といわれる二酸化炭素(CO₂)を資源と捉え直し、有効利用する。

気候変動対策の強化が求められるなか、新たな発想によるCO₂の活用「カーボンリサイクル」への期待が高まっている。政府は昨年12月に策定した「グリーン成長戦略」で政策支援する重点分野に指定し、代表的な技術の一つとしてCO₂を吸収して固まる鹿島のコンクリート「CO₂-SUICOM(スイコム)」を明記した。

カーボンニュートラル(温室効果ガス実質排出ゼロ)実現への機運を追い風に、鹿島が進める普及加速への取り組みを探った。

1立方メートルに100キログラム以上を固定

温度50度、CO₂濃度80%—鹿島技術研究所の西調布実験場(東京)の一角で、業務用冷蔵庫と似た形状の装置がかすかな稼働音を響かせる。装置内の環境条件を表示する数字パネルからガラス扉の中に視線を移すと、直径10センチ、高さ20センチの円柱型コンクリートが並んでいた。

「高濃度のCO₂をコンクリートに吸わせて、内部に固定しているんです。

取違(とりちがい) 剛上席研究員はスイコムの製造に使用するCO₂吸収装置を前にこう説明した。



住宅や高層ビルなど幅広く利用されている一般のコンクリートは砂や砂利に、水と反応して固まるセメントを混ぜてつくる。

砂や水は製造過程でCO₂をほぼ出さないが、石灰石を約1400度で焼成してつくるセメントの排出量が多い。鹿島によると、コンクリート1立方メートルの製造でセメント由来のCO₂排出量は288キログラムに上り、コンクリートの排出量の大半を占める。

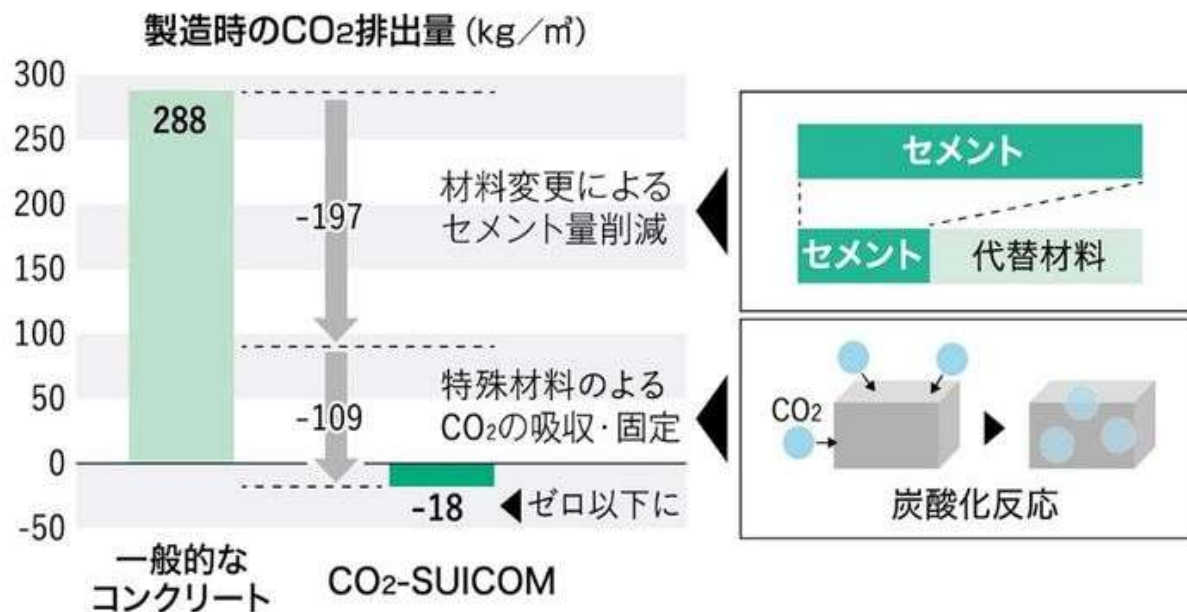
これに対し、スイコムは、CO₂と反応し「炭酸化」することで固まる特殊な材料(γ C2S)をセメントの代替材料の一部に活用。

従来は水で固まる高炉スラグなど産業副生成物に置き換え、CO₂を削減してきたが、 γ

西調布実験場で稼働するCO₂吸収装置を前に話す取違剛上席研究員
C2Sも混ぜることで吸収・固定まで可能にした。

結果、セメント量は3分の1に低減したうえで、残った分の排出量約90キログラムを上回る100キログラム以上を炭酸化で吸い込み排出量をゼロ以下にする「カーボンネガティブ」を実現している。

CO₂-SUICOMの効果



(※) 鹿島技術研究所の試算を基に作成

取違氏は「従来の技術では排出量を削減することはできても、ゼロ以下にはできない。カーボンニュートラルの実現には、CO₂の吸収・固定が不可欠だ」と話した。

常識覆す発想の転換

スイコムは世界初の技術を目指して2008年に開発に着手した。(※) 2010年度には共同開発する中国電力の三隅発電所(島根)の排ガスや石炭灰を利用して製造し、実用段階に入っている。(※) 中国電力、鹿島建設、デンカ調べ

世界の先を行く画期的な開発を可能にしたのが、長年の材料研究の蓄積と大胆な発想の転換だ。

建築物やインフラに利用されるコンクリートは強度や施工性に加え、耐久性が求められる。

鹿島技術研究所は約30年前からテーマの一つとして耐久性の研究を続けるなかで、古代から残る遺跡に着目。中国で発掘された約5000年前の住居跡のコンクリートを調べたところ、当時、中国の限られた地域で使用されていたコンクリートはかまどなど生活から出るCO₂と反応し、表面が緻密になって水の浸食を防ぎ強度を維持していたという。

渡邊賢三土木材料グループ長は「炭酸化が耐久性の向上に有効だと気づき、長寿命化に活かせると考えた」と振り返る。

この研究の成果は、炭酸化を促進するγC2Sの知見を持つ化学メーカー・デンカの協力を得て、推定寿命1万年というコンクリート「E1EN(エイエン)」として2006年に実を結ぶ。次の展開を探るなかで、鹿島が目にしたのがCO₂を吸収・固定する働きだった。



E1ENの研究にも携わった渡邊賢三土木材料グループ長

一般的なコンクリートはアルカリ性で、内部に使う鉄筋などの錆（さ）びを防ぐとされる。炭酸化はこの機能を弱める恐れがあるとされ、業界の常識的にNGとされてきた。しかし、取違氏は発想を転換し、「あえてCO₂の吸収を促進し、固定するとどうなるかに挑戦した」。中国電力やデンカに加え、コンクリートプレキャスト製品メーカーのランデス（岡山）とも共同開発に取り組み、 γ -C₂S やほかの材料の配合バランスなどを約2年間かけて試行錯誤し、スイコムを生み出した。鹿島によると、炭酸化で強度はやや高まるという。さらに、鉄筋の補強材としてガラス繊維を使うなどの方法も検討し、普及に向け万全を期している。



スイコムでつくった消波ブロック（右）と一般のコンクリート。
セメントの代わりに、デンカの γ -C₂Sを使ったスイコムは、植物のようにCO₂を吸収・固定する

30年に市場規模15兆～40兆円

政府は今年7月、グリーン成長戦略で重点分野に位置付けたカーボンリサイクル技術開発の道筋を示すロードマップを改訂。CO₂を吸収・固定するコンクリートは2030年ごろから道路ブロックなど特定用途で普及が始まり、需要が多い汎用（はんよう）品にも「2040年ごろ」に広がるとしている。

改訂前、汎用品は「2050年ごろ」としていたが、前倒しして取り組みを加速する。

しかし、普及に向け越えるべきハードルは多い。

鹿島によると、スイコムの導入実績は実用化から10年で、環境への配慮を特徴とするマンションの天井や太陽光発電所の基礎ブロックなど15件程度。プロジェクトをまとめる坂井吾郎主席研究員は「これまでコンクリートは強度などが重視され、CO₂の吸収という機能には需要がほぼなかった」と分析する。



スイコムを使用した道路の境界ブロック（左）と舗装ブロック

世界的なカーボンニュートラルへの機運の高まりで、スイコンの提供する付加価値への評価は見直されているが、生産体制や価格などの課題はある。重量のあるコンクリートは価格に対して輸送費が割高になるため地産地消が主流だが、スイコンは生産設備を持つメーカーがランデス（岡山県真庭市）などに限られ、需要に応えられないケースもあったという。特殊な代替材料を使うため価格は1キログラム100円と、一般的なコンクリート製品の30円の3倍超に上る（※1）。

このため鹿島は都市圏のメーカーに協力を呼びかけ、生産ネットワークの整備を進める。合わせて、価格低下につながる製造工程の効率化や適用領域拡大など技術の進化に挑んでいる。

スイコンは現在、工場で事前に成形する「プレキャスト」方式でつくる。

炭酸化には時間がかかるケースもあるが、表面に穴をあける、CO₂の触れる部分を増やすなど工夫を施し、厚さ4センチのパネルは一般製品と同等の1日に製造期間を実現している。

また、プレキャストよりも市場規模の大きい、生コンクリートを建設現場で打設する方式への適応方法も研究する。国内の年間使用量は、主に道路ブロックやパネルになるプレキャストが1500万立方メートルに対し、大規模な建築物の構造材にもなる現場打設は5・5倍の8200万立方メートル。CO₂排出量もプレキャストの年450万トンに対し、現場打設は2500万トンと削減余地が大きい（※2）。

鹿島は昨年度から新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の受託研究で、現場打設への適用領域拡大に取り組み始めた。建設現場でいかにCO₂の吸収・固定を実現するかなどの方法を追究し、導入の自由度を高めて需要拡大につなげたい考えだ。



スイコンの研究開発のマネジメントを担当する坂井吾郎主席研究員

政府によると、CO₂を吸収するコンクリートの市場規模は2030年に15兆～40兆円に膨らむ見込み。鹿島は先駆者として新たな市場を切り開き、気候変動対策を成長への原動力にすることができると。坂井氏は「住宅やビル、橋などあらゆる建設物のコンクリートが、CO₂を吸収・固定する可能性を秘めている。スイコンの活用を広げ、カーボンニュートラルに貢献したい」と語った。



（※1）経済産業省などの「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」より引用

（※2）ZENNAMA とセメント協会の2019年度の統計を基に引用。

プリキャストコンクリートとCO₂排出量は鹿島技術研究所による推計値。

提供：鹿島建設株式会社

AIの“限界”を知る鉄鋼業界。日本製鉄・JFEスチールが打ち出したDX戦略の中身

<https://newsswitch.jp/p/28947>

鉄鋼 2 社の D X 戦略		
	日本製鉄	J F E スチール
投資額	1,000億円以上(5年間)	約1,150億円(4年間)
D X 人材	1・2階層で1,000人育成(25年度までに)	1・2階層で600人育成(24年度までに)
主な効果	ロケーションフリーでスタッフ業務を5割削減	全製造工程のC P S 化や操業リモート化で効率、労働生産性を向上
	データ利活用で意思決定者への情報提供時間8割削減	高炉C P S でパンキングからの立ち上げ期間を7割短縮
	A I の導入で設備の監視・調整業務を5割削減	本社D X 拠点で全拠点の操業データの統合的な活用を推進
海外展開	海外で生産管理など日本と同様のシステムを展開	サブスクリプション制などでソリューションの新規ビジネス

日本製鉄、JFEスチールは、数年先をゴールとする経営計画の中でデジタル変革(DX)戦略を打ち出した。

I T に投じる金額や育成する専門人材の数などに違いはあるものの、作業効率化や労働生産性の向上、顧客満足度アップなどDXの狙いは共通する。

I T はあくまで手段であり、現時点での人工知能(AI)の“限界”を認識している点も同じだ。鉄鋼のスマートな現場づくりに対する基本姿勢を探った。(編集委員・山中久仁昭)



2021年度は鉄鋼業界にとって“DX推進元年”。

日本製鉄が5カ年、JFEスチールが4カ年の経営計画を始動し、脱炭素とともにDXをその柱に位置付けた。両社ともコンピューター活用で50年超の歴史を持ち、日本の製造業の情報化をリードしてきた。これまでも各現場ではデータを収集してきたが、場合によっては部分最適でタコツボ的な利用にとどまっていた。DXでは蓄積する大量データを共有、分析、活用し、迅速な意思決定と課題解決につなげる。全社的な情報基盤を整備する一方で、各現場では蓄えたアナログデータをデジタルデータに置き換えるといった地道な作業も進む。

鉄鋼各社が注力するのが、生産工程を可視化しトラブルなどを予測する「サイバーフィジカルシステム(CPS)」だ。高炉の場合、内部のプロセス挙動は肉眼で確認できない。

日鉄によると、その制御は熟練技能者による勘や経験と物理的モデルで対応してきたものの、DX化では従来の

技術とAIによるモデルを掛け合わせ、制御の自動化や高度化を実現させる。

将来、高炉の無人自動運転は可能なのか。日鉄の中田昌宏執行役員は「個人的に完全自動化はやってはいけないプロセスだと思う。人の能力を最大限、価値あるものにするには作業の単純化や安全面の改善などは必要」という。JFEスチールの風間彰常務執行役員は「（現中計ゴールの）24年度までは作業者へのガイダンスどまりだろう。完全自動化には何年か検証を重ねる必要がある」と語る。

こうした“抑制的”な考えの背景にはAIに対する現状認識がある。

中田執行役員は「AIは学習して過去の知見をフル活用できるが、現時点では新たなものを生み出せない」とする。風間常務執行役員も「AIは未来を語ってくれない。操業で異常があっても、どこが悪いのか、どうすべきかはやはり物理的なモデルでないと現時点では分からない」ときっぱりと語る。

一方、DXに不可欠なのが人材育成だ。

ITの専門家ばかりでなく、製鉄や製鋼といった各業務・技術に精通した人たちが現場に適したDXを実践できるようにする。日鉄は30年度までに全国現場スタッフのうち2割の約2300人を「ITを操り調整」（2階層）、1%の約100人を「開発」（1階層）できる人材に育てる。

外部機関と連携して教育し、25年度までに1000人程度育成する。

JFEスチールは24年度までに、いわば1・2階層のDX人材「データサイエンティスト」を、現状1・7倍の累計600人を育成する。これは各現場に複数人配置した最低ラインの陣容だとし、将来的には上積みを図る考えだ。数年前から人材を育成し、現在いる約350人の8割超はすでに業務課題の解決にITを駆使。年2回開く論文発表会では解決策を共有するなど鉄鋼業界でも先を行く。

基幹産業として長年培ったノウハウと経験を基に、世界的な競争力をDXで盤石にできるかはこの数年間の取り組み次第だろう。

鉄鋼2社のDX戦略		
	日本製鉄	JFEスチール
投資額	1,000億円以上(5年間)	約1,150億円(4年間)
DX人材	1・2階層で1,000人育成 (25年度までに)	1・2階層で600人育成 (24年度までに)
主な効果	ロケーションフリーでスタッフ業務を5割削減	全製造工程のCPS化や操業リモート化で効率、労働生産性を向上
	データ利活用で意思決定者への情報提供時間8割削減	高炉CPSでバンキングからの立ち上げ期間を7割短縮
	AIの導入で設備の監視・調整業務を5割削減	本社DX拠点で全拠点の操業データの統合的な活用を推進
海外展開	海外で生産管理など日本と同様のシステムを展開	サブスクリプション制などでソリューションの新規ビジネス

鋼2社のDX戦略 日刊工業新聞 2021年9月24日

2021.9.27. インターネットより採録 by Mutsu Nakanishi

【金属の世界史】古代には「金」よりも高価だった意外な金属とは？

新刊書 左巻健男 著『世界史は化学でできている』紹介より

<https://diamond.jp/articles/-/282496>

火の発見とエネルギー革命、歴史を変えたビール・ワイン・蒸留酒、金・銀への欲望が世界をグローバル化した、石油に浮かぶ文明、ドラッグの魔力、化学兵器と核兵器…。化学は人類を大きく動かしている――。

白熱のサイエンスエンターテインメント『世界史は化学でできている』は、朝日新聞、毎日新聞、日本経済新聞夕刊、読売新聞夕刊と書評が相次ぎ、累計 8 万部を突破。

『Newton9月号 特集 科学名著図鑑』において、「科学の名著 100 冊」にも選出された。

池谷裕二氏（脳研究者、東京大学教授）

「こんなに楽しい化学の本は初めてだ。スケールが大きいのにとても身近。現実的だけど神秘的。文理が融合された多面的な“化学”に魅了されっぱなしだ」と絶賛されたその内容の一部を紹介します。



現代の金属は多種多様

デンマークの考古学者クリスチャン・トムセン（一七ノハ〜一八六五）は、人類の文明史を「石器時代」（旧石器時代、新石器時代に分けることもある）「青銅器時代」「鉄器時代」の三つに大別した。この三区分は、古代北欧博物館（デンマーク国立博物館の前身）の館長だったトムセンが、博物館の収蔵品を、利器（便利な器具）、とくに刃物の材質の変化を基準に、石・銅・鉄の三つに分類して展示したことに始まり、今日でも用いられている。

私たちの文明は石器から金属器に移り変わった。現代は、鉄器文明の延長線上にある。金属は自由に加工でき、しかも硬いために有用性が高く、大きく文明が進歩した。金属器の金属は青銅から鉄になり、さらに鉄と炭素が合わさった鋼（鉄鋼）が主役になったのだ。



Photo: Adobe Stock

鋼は、硬くて強く、道具、武器、機械や建築の材料になった。

鉄は優れた性質を持つ合金をつくることもできる。これは、鉄の用途の広さを示している。たとえば、鋼は鉄と炭素の合金だが、その他にステンレス鋼（さびない鋼）などがある。

現在、金属の生産量で鉄はダントツ一位で、アルミニウム、銅が鉄に次いでいる。

鑄鉄と鋼

溶鉱炉でつくられた鉄は銑鉄である。銑鉄から鑄鉄と鋼がえられる。炭素含有率が約二パーセント以上のものが鑄鉄である（ほとんどの鑄鉄は三パーセント以上）。鑄鉄は熔融温度が低いため、熔融して液体状態にして必要な形の鑄型に流し込んで凝固させて、鑄物として使われる。

鑄型によって製品の形状・寸法に近いものを大量につくることができるのだ。

銑鉄から、転炉や平炉を用いて、炭素の含有率を四パーセント前後から二パーセント以下へ下げる処理を加えて「炭素鋼（普通鋼）」がえられる（ほとんどの鋼は一パーセント以下）。

炭素鋼は、含有されている炭素量が多くなると強さや硬さが増すが、その反面、伸びや絞りが減少する。鋼は熱処理（焼きなまし、焼き入れや焼き戻し）によって大きく性質を変えられることも利点である。

炭素鋼（普通鋼）に対して、特殊鋼と呼ばれるものがある。マンガン、ニッケル、クロムやモリブデンなどの金属元素を添加したり、成分を調整したもので、強靱性、耐熱性、耐食性などに優れているので、普通鋼では耐えられない厳しい環境下で使われる。

宇宙からやってくることもある金属

天然に単体として産出する金属は、金、白金、わずかに銀、銅、水銀などだ。金、白金では、自然金、自然白金と呼ばれる。これらは、金属の陽イオンへのなりやすさの傾向（イオン化傾向）が小さい金属だ。

金属はイオンになるとときにはその原子から電子を失って陽イオンになる。

酸素原子や硫黄原子は電子を得て陰イオンになりやすい。くり返すが、金属の多くは酸素や硫黄などと結びついて酸化物や硫化物として、自然界に存在している。

そのとき、金属原子は酸素原子や硫黄原子に電子を渡して金属の陽イオンになり、酸素原子や硫黄原子は電子を得て、陰イオンの酸化物イオンや硫化物イオンになるのだ。プラスの電気を帯びた陽イオンとマイナスの電気を帯びた陰イオンが、プラスとマイナスの電気の引き合いで結びつくため、多くの金属は酸素や硫黄などとの化合物の鉱石として存在しているのである。

イオン化傾向が小さい金属は陽イオンにならずに金属原子が集まった自然金などの単体の金属になったりしている。陽イオンになっても酸化物イオンや硫化物イオンとの結びつきが弱いので、割と簡単にその結びつきは外れて、単体の金属になる。人類は、イオン化傾向の小さい金、白金、水銀、銀、銅を単体の金属として利用してきたのだ。

鉄が主成分の「隕鉄」は宇宙からやって来ることもあるが、わずかな量にすぎない。そのため、鉄は古代においては金以上に高価な金属であった。

古代ギリシアのストラボン（紀元前六三～二四頃）の『地理学』には、金一〇対鉄一の割合で交換が行われたという記述もある。当時の鉄の主たる原料は隕鉄だったので、大変に貴重なものだった。

古代社会で最初に用いられたのは、「金」と「銅」だ。金は装飾品に使われた。また、メソポタミア・エジプトでは紀元前三五〇〇年頃から青銅器時代が始まった。クレタ島のクノッソス宮殿では紀元前三〇〇〇年頃に銅が使われていたし、紀元前二七五〇年頃のエジプトのアプシル神殿では銅の給水管が使われている。

火の技術の応用と青銅器づくり

さて、大多数の金属元素は、天然には酸素や硫黄などの化合物として岩石（鉱石）のかたちで、あるいはイオンとなって海水中などに存在する。やがて人類は鉱石を木炭などと混ぜ合わせて加熱して還元することで金属のかたまりを得る技術を獲得した。これは、火を用いた「化学反応の生産技術への応用」だった。

金属器では青銅器がまず使われた。青銅は銅とスズの合金である。

銅と酸素の結びつきはあまり強くないため、酸化銅でできた鉱石から、簡単に銅を取り出すことができた。

おそらく、銅やスズをふくんだ鉱石がある場所で焚き火をしたときに、偶然に青銅ができたのだろう。

その後、銅やスズの鉱石と焚き木（燃料にする細い枝や割木）を交互に重ねて火をつけたのだと推測できる。

やがて、人類は焚き木の代わりに木炭を使うようになり、石を積んだ高温の炉のなかで反応させるようになった。

炉に「ふいご」で空気を送り込めばさらに高温になり反応が進みやすくなる。

得られた金属のかたまりを集めて、土器のつぼ（ルツボ）に入れて、炉に「ふいご」で風を送り、加熱すると、金属は融けて液体になる。それを鋳型に流し込むのだ。

紀元前二〇〇〇年頃のエジプトの壁画には足踏みふいごと鋳型が登場する。

古代中国の殷王朝や地中海のミケーネ文明、ミノア文明および中東などで青銅器が広く製造・使用されるようになり、青銅器時代が到来した。

銅は単独だとやわらかいが、スズと合金にすると（スズがふくまれる割合によって）硬さを調節することができる。銅よりも硬くて丈夫にできるため、青銅は農業用のくわ、すき、武器としての刀や槍などの材料に広く使われた。青銅器は石器より欠けにくいし、変質もしにくいし、破損した場合は融かして何度でも使える。大変に便利なのだ。

(※本原稿は『世界史は化学でできている』からの抜粋です) 左巻健男(さまき・たけお)

東京大学非常勤講師元法政大学生命科学部環境応用化学科教授

『理科の探検(RikaTan)』編集長。専門は理科教育、科学コミュニケーション。

一九四九年生まれ。千葉大学教育学部理科専攻(物理化学研究室)を卒業後、東京学芸大学大学院教育学研究科理科教育専攻(物理化学講座)を修了。中学校理科教科書(新しい科学)編集委員・執筆者。大学で教鞭を執りつつ、精力的に理科教室や講演会の講師を務める。おもな著書に、『面白くて眠れなくなる化学』(PHP)、『よくわかる元素図鑑』(田中陵二氏との共著、PHP)、『新しい高校化学の教科書』(講談社ブルーバックス)などがある。

化学は人類を大きく動かしている——著者より

「火」というきわめて身近な化学的現象がある。

世界史(人類史)上、最初に人類が知った化学的現象は、おそらく「火」であった。火は、「燃焼」という化学反応にともなう激しい現象である。原始の人類は、自然の野火、山火事などに、他の動物と同様に「おそれ」を抱いて近づくことはなかったのだろう。

しかし、私たちの祖先は「おそれ」を乗り越えた一。

彼らは火に近づき、火遊びをし、さらには火を利用するようになった。それは、私たち人類が持つ「好奇心」の表れでもあり、おそらく、彼らは火への接近・接触をくり返すなかで、火を利用することの「有用性」を学んでいったのであろう。

火は、暖房、照明、狩猟、焼き畑のような直接的利用はもちろん、土器やレンガを焼いたり、調理、鉱石から金属を得る精錬、金属加工にも利用された。

しかし、「火の技術」は、人々の生活を豊かに便利にしてきたが、森林破壊を起こすことで自然環境、景観を大きく変えてきた負の面もある。

人類、とくに約二十万年前にアフリカで生まれたホモ・サピエンスは、時間の経過とともに、道具、火(エネルギー)、衣類、住居、建物、道路、橋、鉄道、船、自動車、農業、工業などをつくり出し、それらの助けを借りて、全世界にはびこっている。

人類の文明の土台には、「化学」という学問の進歩と、化学の成果がもたらした物質・材料がある。私たちは、天然には存在しない物質をも、化学の知識と技術でつくり出してきたのだ。

本書では、第1章～第3章では、古代ギリシアで芸術・思想・学問が見事な花を咲かせた時代に、自然科学や化学は、どのようにして生まれたのかを紹介しながら、化学の基本的な考え方や原子論、元素、周期表などがどのように生み出されてきたのかを、さまざまな天才化学者たちが織りなすエピソードとともに描いた。

また、第4章以降は、火、食物、アルコール、セラミックス、ガラス、金属、金・銀、染料、創薬、麻薬、爆薬、化学兵器、核兵器にいたるまで、化学の成果がどのように私たちの歴史に影響を与えてきたのか、その光と闇をふくめて紹介していく。



DIAMOND on line より

新刊書籍のご案内 左巻健男 著『世界史は化学でできている』