

早稲田大学
創造理工学部・研究科
広報誌

2015

12

〒169-8555
東京都新宿区大久保 3-4-1
Tel 03-5286-3000
Fax 03-5286-3500

Creative People

創造人

<http://www.cse.sci.waseda.ac.jp/>

Interview

環境資源工学科

山崎淳司 教授

フィールド・応用鉱物学

応用地球物質工学
素材物質科学

鉱物の可能性は無限に広がっている
持続的で、自然と調和的な
資源循環型社会を



制約にしばられずにできるのが 大学の研究の醍醐味 失敗と試行錯誤を繰り返し 既成概念を壊すような研究を

「趣味は研究そのもの」と語り、多方面での研究を続け、多忙な毎日を送る山崎先生のモットーは、「自然は手本である。鉱物は見本である」というものです。その心は、新しい発見のヒントは自然のなかにあり、鉱物は自然が作った発見の見本だという考え方。新しい発見を求めて、研究室から国内・海外の企業・研究機関へと飛びまわる日々を送っています。

メジャー元素でできた安価な物質を 高機能な素材へと変化させる

私たちの応用鉱物学研究室では、地球の表層にある物質は、すべて有用資源であり原料であると考えられています。ですから、すべての地球物質である鉱物——要するに石ですね——が研究対象です。まだ活用されていない鉱物資源や鉱物質の廃棄物などの分布や産状、物性の測定や発現機構の解明などの基礎研究を行いながら、高機能素材への転換や開発などの応用研究に取り組んでいます。

そのなかでも、私たちの研究対象としているのはレアアースのような希少で高価な物質ではありません。地球の表層でメジャーな元素で構成される、安価な物質を主な研究対象としています。ありふれた鉱物でも、他の素材と組み合わせたり、加工したりすれば、思いがけない機能を発揮することがあるのです。

たとえば、ゼオライトという多孔質（たくさんの穴がある）物質は、ケイ素とアルミニウムと酸素というメジャーな元素でできていますが、構造・組成によってナノメートル（10億分の1）オーダーの規則的で特徴的な細孔を持ち、様々な特性を発揮します。

現在、ゼオライトでもっとも世間に注目され、活用されている機能は、放射性物質の吸着機能でしょう。あるゼオライトは、セシウムやストロンチウムなどの放射性物質を選択的に吸着で

きるため、福島第一原発事故の除染に活用されています。私たちの研究室でも、より効率的な放射性物質吸着剤の開発に取り組んでいます。

島根県で発掘された天然ゼオライト「フェリエライト」には、空気から二酸化炭素（CO₂）を濃縮する機能があります。温暖化の原因として避けられがちな二酸化炭素には、植物の発育を促す効果があり、今でも灯油を焚き、熱と二酸化炭素を温室に送って、季節に関わらず作物を育成しているところがたくさんあります。しかし、この方法ではエネルギーがかかるし、排煙で作物を汚染する危険があります。そこで私たちは「フェリエライト」を活用して「炭酸ガス濃縮装置」を作り、より安全で高効率の光合成促進システムを開発しました。その結果、たとえばいちごの温室栽培で収量は30~40%上がり、より糖度の高い果実を実らせることに成功しています。

さらに、ある種の粘土鉱物はアルカリ性溶液を合わせることによって、ジオポリマー硬化体というセメント物質へと変化します。これは今のセメントと比較すると、数々のメリットがあることが分かりました。

まずはその耐久性です。現代の普通セメントの寿命はせいぜい50年から100年程度だと言われていますが、ジオポリマー硬化体は古代ローマなどで使われていた一部のコンクリートと同じ成分を持ち、その寿命は1000年と超えると推測されています。古代コンクリートでできたローマのコロッセオが2000年近く経過しても現存していることから分かるでしょう。特に酸性雨や塩害などに強く、近年では室内建材やサイディング材に活用されつつあります。

また、石炭灰や高炉スラグなどの産業廃棄物を主成分としてつくることができるので、資源や環境への負担が少ない点や二酸化炭素排出量を普通セメント製造プロセスに対して8割削減できる点などもメリットとして挙げられます。実はイオン交換能があることもわかってきましたので、新たな用途開発も期待できるでしょう。



島根県産のフェリエライト

早稲田大学には産学連携の研究組織が多数ありますが、その一つの循環型環境技術研究センターでは、わたしたちの研究室が参加したプロジェクトで、ゼオライトやジオポリマーなどを使った土壌浄化技術の開発と企業による実用化をおこなっています。



ホウ素排水処理設備
循環型環境技術研究センターで開発した吸着・固定材を使用

また私たちは鉄道総合技術研究所の研究をお手伝いして、ジオポリマー製の「まくらぎ」を開発しました。最近のまくらぎは「木」ではないので、正式にはひらがなで表記しています。これまでの「枕木」と比較して、耐久性にも安定性にも優れていることが確認されました。すでに実証試験を終えています。

学生にとっても、自分が行った研究が実用化して実際に使われることでモチベーションが上がり、よい経験になっています。

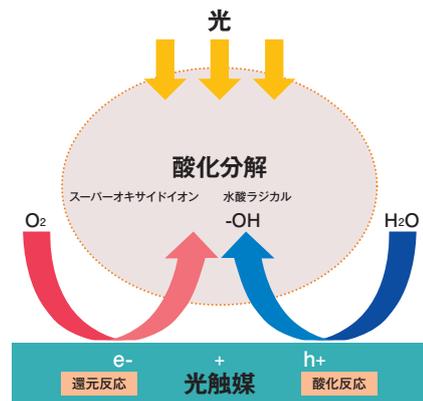
柔軟な発想にもとづいて 横断的な研究を行う

ゼオライトが持つ多孔質という性質を、他の研究に活用することもあります。たとえば、私たちの研究室で行っているのは、光触媒への応用です。

太陽光などの光が当たると、その表面で酸化力が生じ、接触する有害物質を除去できる物質を「光触媒」と言いますが、従来の光触媒——酸化チタンは紫外線にしか活性化せず、ほとんど屋外か紫外灯の下だけの利用に限られていました。20年ほど前に、酸化タングステンという物質が紫外線だけではなく、可視光にも活性を示すことが発見されていますが、触媒としては効率が悪く、実用化にまでは至っていません。

触媒としての効率を高めるためには、光が当たる部分を大きくすれば良いわけですから、比表面積を大きくすれば良いわけです。

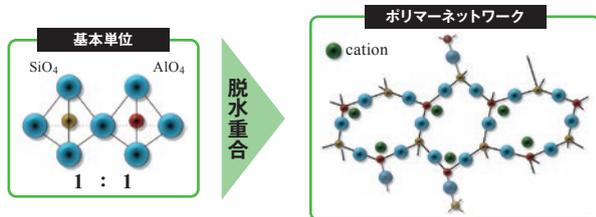
そこで私たちは、「ハードテンプレート法」という手法を用いて、酸化タングステンを多孔質のゼオライトを型材として加工することを考えました。これによって、比表面積を飛躍的に高めることができました。うまくいけば、将来、紫外線がカットされた室内や車内でも、置いておくだけで有害物質を除去してくれるような仕組みを開発できるでしょう。



ハードテンプレート法により酸化タングステンを多孔質のゼオライトで加工。

ジオポリマー建材の高機能性付加に関する研究

Al、Siを多く含む活性な粉体とアルカリ性溶液の縮重合によって形成された非晶質のゲルの硬化体



メリット

CO₂排出量 8割削減

石炭灰を主成分

化学的耐久性 **大**

イオン交換能

期待される効果

低炭素・低エネルギー社会へ貢献

産業廃棄物の有効利用

使用範囲の拡大

新たな用途開発

高炉スラグを添加した 塩害対策ジオポリマー硬化体の作製と評価

高炉スラグの添加量が少ないと塩化物イオンの浸透抑制に対する効果は得られなかったが、添加量を多くすることによって塩化物イオン浸透抑制に対する効果が得られた。しかし、高炉スラグの添加に伴う結晶物質は生じておらず、非晶質相に塩化物イオンが固定化されていると考えられる。



高炉スラグ

鉄鉱石から鉄鋼を精錬の際に分離された不純物。塩化物イオン浸透抑制に効果的。



塩害

塩化物イオンがコンクリート中に侵入することによって、内部の鉄筋が腐食、膨張してひび割れを起こすこと。

*1 リハビリ工法研究会 <http://www.rehabilitate.jp/?cn=100018>

失敗や試行錯誤を繰り返してこそ 新しい発見が可能となる

鉱物と聞くと、人間や生物とはあまり関係がないと思う人もいるでしょう。しかし、決してそうではありません。

動物の骨や歯などの硬組織はリン酸カルシウム、いわゆるハイドロキシアパタイトという鉱物からできています。人間も骨がなければクラゲのようになってしまい、自由に動けなくなりますから、リン酸カルシウムは人間の生存に欠かせません。稲が自立できるのも、非晶質シリカ、すなわちオパール質が約20~30%入っているからです。貝は石灰石、すなわち炭酸カルシウムで貝殻を作るからこそ、身を守れています。

私たちがこうした鉱物質の物質を活用する研究に取り組んでいます。たとえば、ハイドロキシアパタイトを活用し、骨粗しょう症の治療に役立てたり、歯や骨を再生する素材を開発する研究に取り組んでいます。

このように考えれば、生物の生存にとって、鉱物は不可欠であることがわかるでしょう。石油等の資源枯渇問題が考えられています。地球そのものを構成する物質である鉱物も私たちにとって重要な資源なのです。

ですから、自然と調和的で、なおかつ持続的な資源循環型社

会を実現するために、鉱物を大いに利用しなければなりません。今の最終廃棄物の中にも、資源として使えるものがたくさんあります。柔軟な思考で、今まで廃棄するしかなかった物質や未利用の鉱物を使って新しいものがどんどん作られる可能性があります。そのためには、これまで以上に、既成概念にとらわれず、研究に取り組む必要があります。

大学で研究するメリットは、制約に縛られず、いろいろなことに挑戦できることだと思います。企業などの場合、何らかの有価値性や商業的な目的があって研究していますから、たとえば、仮説と異なる実験結果が出たら、それは「失敗」と結論づけられがちです。

しかし、私たちの場合、むしろそれを面白いと思います。「なぜ、予想外の結果になったのだろうか」とさらに研究意欲をかき立てられるのです。研究は楽しみです。研究室の学生たちにも、どんどん「失敗」してもらい、試行錯誤して、新しい現象が見つかる喜びを実感してもらおうにしています。そんな実験の積み重ねこそが、既成概念をくつがえすような結果につながると確信するからです。



Atsushi Yamazaki