

ブルーレイディスクも液晶画面もレアメタルが不可欠

エコノミスト
レポート

Economist Report

現代の錬金術師たち

危機が新産業を生み出す
レアメタル代替材料最前線

日本の産業に必須のレアメタルの供給が脅かされている。不足しかなない元素を代替するだけでなく、上回る性質を持つような素材の開発が活発化している。

さとう けんたろう
佐藤 健太郎
(サイエンスライター)

昨年、尖閣諸島沖漁船衝突事件

から、中国の禁輸措置が取り沙汰されるなど、今やレアメタル問題は国際情勢の台風の目となっている。レアメタルは各種ハイテク機器にとって必須であり、日本経済の生命線を握る資源であることは詳述するまでもあるまい。磁石に用いられるネオジムやジスプロシウム、電池に用いられるリチウムやコバルト、LED（発光ダイオード）に用いられるガリウムやインジウムなど

が代表的なもので、これらは希少であるうえに新しく作り出すこともできない。

経済産業省の定義によれば、物質を構成する基本要素である元素のうち、レアメタルは半分近くの47種にも上る(図1)。それぞれ用途や産出国、埋蔵量など事情は異なるが、共通しているのは資源の偏在という問題だ。

たとえばレアメタルの中でも重要な希土類元素(レアアース)供給の97%までを中国が占める。それ以外の30元素のうち、産出量上位3カ国で世界全体の5割を占めるものが23元素、8割を占めるものが16元素と、ほとんどが大きく偏って存在しているのだ。産出国はこれを武器として国際社会でのプレゼンスを高めようとしのぎを削っており、世界最大のレアメタル消費国である日本はその

波をまともにかぶらざるを得ない。

実のところ、供給に懸念がある元素は、これらのいわゆるレアメタルばかりではない。たとえば医療用MRI(磁気共鳴画像)やリニアモーターカーで電気抵抗がゼロの超伝導状態を作るのに不可欠なヘリウムは、米国で世界の8割を産出する。しかし同国のヘリウム資源は、このままいけばあと25年で完全に枯渇するという予測がある。JRR東海はリニアモーターカーの開通を2045年ごろと想定しているが、そのころには肝心のヘリウムが底を突いているという事態もありえないことではない。

さらに深刻なのはリンだ。リンはあらゆる作物の肥料として不可欠であり、不足は食糧危機にそのまま直結する。リン鉱石の枯渇まではあと90年ほどと計算されているが、これ

は世界の人口増加や途上国の経済発展を勘案していない数字だから、危機はそれよりはるかに早くやってくる。既に中国の産地を襲った四川大地震などの際にリン鉱石の価格は暴騰しており、その安定供給には今後大きな懸念がつきまとう。

日本発の「二元素戦略」

多くの元素資源が不足に向かうなら、豊富に存在する元素をうまく組み合わせてさまざまな機能を引き出す工夫をするしかない。これは要するに化学の領域だ。幸いにして、ここ数年のノーベル賞ラッシュが示す通り、日本の化学は世界のトップレベルにある。

既に日本の化学者はこうした認識に立ち、元素不足の問題への取り組みを意識的・戦略的に進めてゆこう





という「元素戦略」のコンセプトを打ち出している。2004年4月、箱根において開かれた「科学技術未来戦略ワークショップ」で、中村栄一・東京大教授らが最初に提案した。この「元素戦略」は文部科学省・経済産業省の政策に取り入れられ、既にくつものプロジェクトが動き出している。欧米の後追いではなく、日本から世界に発信されたコンセプトであることは特筆に値する。

日本の先端化学がレアメタルの問題に対してどのような貢献ができて、今どのような研究が進められているのか、その一端を紹介したい。

大容量の新記録媒体

酸化チタンは白色絵の具や日焼け止めのほか「光触媒」として建物外壁などにも広く用いられている身近な物質だ。その安価でありふれた物質が、驚くべき高性能記録媒体に生まれ変わろうとしている。

大越慎一・東京大教授のグループは昨年、酸化チタンを特殊な手法でナノサイズの粒子にすると、光をあてることで自在に半導体と金属に性

質を切り替えられることを発見した。室温でこうした変化を起こす物質は世界に前例がない。性質の切り替えを素早く繰り返し行えるという特徴は、情報記録にうってつけだ。

現在のDVDやブルーレイディスクにはアンチモン、テルル、ゲルマニウムなどのレアメタルが使用されているが、新素材ではこれらの使用を完全に回避できる。用いられる粒子は極めて細かいため、既存の媒体より高密度に情報を記録できる可能性を持つ。さらに酸化チタンは食品添加物に用いられるほどであり、人体にも安全だ。

セメントが液晶画面に

現在主流の液晶ディスプレイは、透明な電極で液晶を挟み、電圧をかけることで液晶を操作し、画像を表示する。この透明電極としてはインジウムの化合物であるITOが広く普及している。ITOは有機ELやプラズマディスプレイ、LEDなどにも広く用いられる重要物質であり、このためインジウム価格は一時期10倍以上にも高騰した。

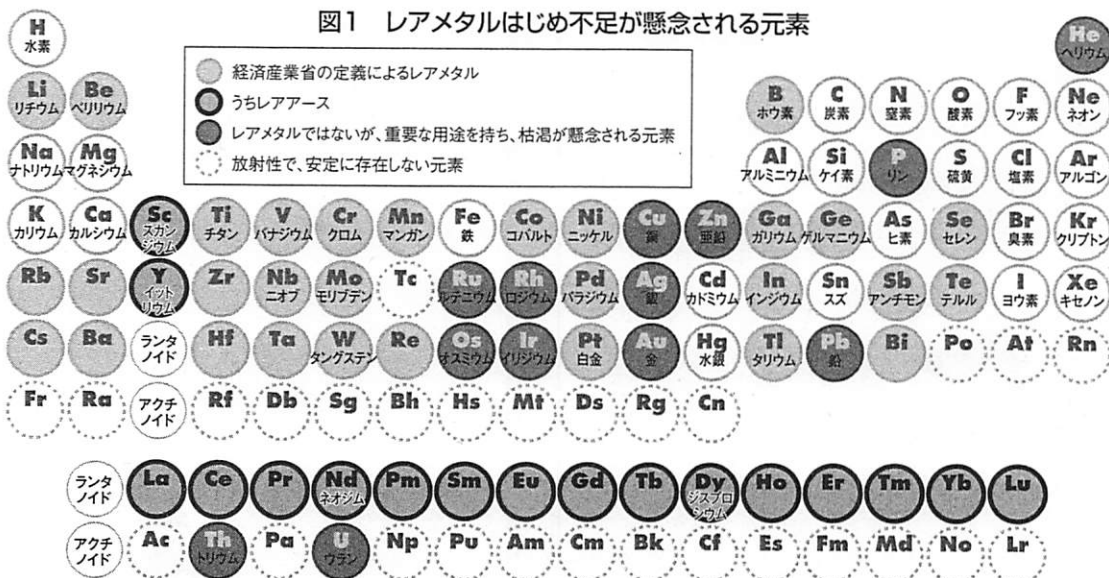
これに代わる物質に最も近いものの1つが、細野秀雄・東京工業大教授が開発した「透明セメント」だ。建築材料に使われる灰色のセメントが透明に、しかも電気を通すように

なると言われても、にわかには信じがたい。ところが細野教授は、ありふれた石灰とアルミナを混ぜて溶かすという極めて簡単な操作で、この不思議な物質を創り出した。

セメントは、酸素、アルミニウム・カルシウムから成るナノサイズのかがたぐさん連なった構造を持つ。通常のセメントではこのかがに酸素原子が入っているが、細野教授はこれを電子と置き換えるという工夫をした。すると小さな電子はかこの間を自在に通るようになる。セメントを構成する丈夫なかごを、身軽で扱いづらい電子をうまく制御するための通り道にしまったわけだ。

細野教授はこれ以外にも多くの業績を上げており、材料科学分野で世界が注目する研究者の1人だ。08年には、鉄を主体とした酸化物

図1 レアメタルはじめ不足が懸念される元素



(注) チタンは存在量は多いが、大半が化合物として存在し、純粋に金属として取り出すことが難しいため、分類上レアメタルとされている (出所) 筆者作成

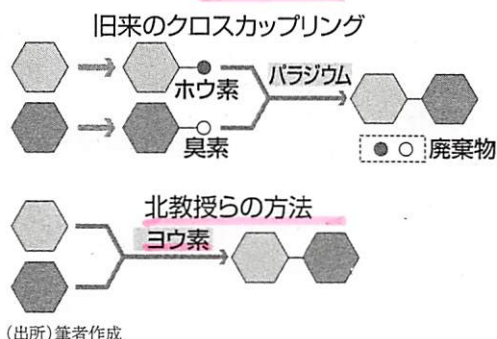
が、低温で電気抵抗がゼロの超伝導状態になることを発見している。これは超伝導分野の一大ブレイクスルーで、その論文は引用数世界一を記録した。超伝導の原理にはまだ謎も

レアメタルが活躍しているのは、こうした材料分野だけではない。例えば医薬やプラスチックなどの化合物を作り出す過程でも、各種の希少元素が用いられる。昨年、日本人研究者がノーベル賞を受賞した「クロスカップリング」もその一例だ。こ

ノーベル賞を超える合成

レアメタルが活躍しているのは、こうした材料分野だけではない。例えば医薬やプラスチックなどの化合物を作り出す過程でも、各種の希少元素が用いられる。昨年、日本人研究者がノーベル賞を受賞した「クロスカップリング」もその一例だ。こ

図2 希少なパラジウムを使わないうえ、下準備も不要



(出所) 筆者作成

多いが、その解明にも寄与すると期待されている。

超伝導体の研究が進めば、高価で希少なヘリウムを必要としないリニアモーターカーなども夢ではなくなるだろう。いずれの研究も、アルミニウムやカルシウム、鉄といったありふれた元素から斬新な物質を創造しており、材料科学の可能性が無限であることを改めて教えてくれる。

それが優れた反応であるのはもちろんだが、パラジウムやホウ素などレアメタルの使用が必須であり、元素戦略の観点からは必ずしも完璧ではない。そこで入手容易な元素で代替する方法の研究が盛んに行われている。元素戦略の提案者である中村教授は、貴重なパラジウムの代わりに鉄を触媒として用いるクロスカップリング反応の研究で世界をリードしている。単独の鉄はこうした触媒作用を持たないが、精密に設計された有機分子を結合させることで新たな性質を引き出したものだ。鉄触媒研究の分野は、既にパラジウムではできない反応が実現するほどに進展している。毒性の低い鉄は、廃棄物の処理なども簡便という大きなメリットがあり、今後さらに研究例が増えそうだ。

また北泰行・立命館大教授は、パラジウムの代わりにヨウ素化合物を用いるクロスカップリングを開発している(図2)。今までは、結合させたいパーツに対して事前にホウ素や臭素などの元素をあらかじめ導入しておく必要があった。しかし北教授らの方法は、この下準備なしに「生」のパーツ同士を直接結合できる、まるでマジックのような反応だ。

何よりヨウ素は、珍しく世界生産量の約3分の1を日本が占めている元素であり、その有効活用は大きな

意義を持つ。既に透明電極などに用いられる導電性高分子の生産に応用され、今年中の実用化に向けて研究が進められているところだ。こうした触媒の研究は日本のお家芸であり、ものづくりに強い日本の力は分子レベルでも十分に発揮されている。

海水が無尽蔵の鉱山になる

元素戦略で考慮すべきは、製造段階で希少元素を置き換えるばかりではない。使った希少元素を製品から回収する技術も重要になる。特に日本国内には、携帯電話や液晶テレビなどに含まれるレアメタルが多量に存在し、「都市鉱山」と呼ばれて注目を集めている。

そしてもうひとつ、日本が豊富に持つ資源がある。それは海水だ。海水にはあらゆる有用元素が溶け込んでいる。例えば海水中には45億トンのウランが溶けているとされ、これは世界の原子力発電所を6万年動かせる量に相当する。これを自在に抽出できれば、事実上無尽蔵のエネルギーが手に入ることになる。しかしこれは、多くの研究者が挑んで果たせなかつた夢だ。海水中のウラン濃度は低すぎ、とても効率的な抽出は無理と考えられてきたのだ。

日本原子力研究開発機構の研究陣は、長らくこの技術開発に挑んでい

る。彼らが編み出したのは、プラスチックの一種に化学的な処理を施し、ウランを吸着する原子団を取りつけた捕集材だ。既に350キの材料を用いた実験で、海水から1キのウランを抽出することに成功している。効率の改善や耐久性の向上など課題は多いが、成功すれば日本が一挙に資源大国となりうる、非常に夢のある技術だ。

代替ではなく凌駕する

このほかにも、燃料電池の白金触媒の代替など、多くのジャンルでさまざまなアプローチがなされ、成果を上げ始めている。レアメタル危機の根は深いが、逆境を乗り越えるための技術も次々と芽吹き始めているのは心強い。単にレアメタルを置き換えて同等の材料を創るというだけでなく、元のものより高い競争力を備えた新材料も登場している。大越教授らの新素材は、レアメタルを安価な酸化チタンで代替しつつ、既存物質を凌駕する性能を引き出しており、元素戦略のひとつの理想例だ。

現在のレアメタル危機は、積極的に捉えれば次世代の新産業を生み出すための母胎にもなりうるといえるだろう。ありふれた物質を宝の山に変える彼ら化学者たちこそ、現代の錬金術師と呼ぶにふさわしい。

☞