

誰かに教えたくなる 科学技術の話 16

産業のビタミン 「レアアース」



東京大学名誉教授 月尾 嘉男

図1 周期律表

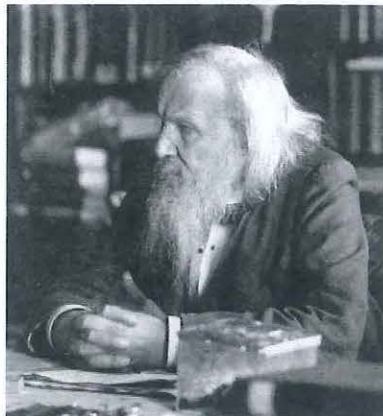
1																	18
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	★	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	★	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

★ランタノイド	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
★アクチノイド	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

中学や高校の理科の授業では周期律表を勉強する。横方向に十八、縦方向に七の升目があり、一部は空白であるが、それぞれに元素の名前が記入されている一覧図表である(図1)。これは地球に存在する元素を原子核内にある陽子の個数によって表現される原子番号の順番に配列

発明から百五十年の周期律表

図2 D.I. メンデレーエフ (1834-1907)



したもので、現在では陽子が一個の水素(H)から百十八個のオガネソン(Og)までが記載されている。

十八世紀後半から十九世紀前半はヨーロッパで化学が一気に発展し、数多くの元素が発見された。その結果、次々と発見される元素に法則があるのではないかと、という疑問が発生し、多数の学者が難問に挑戦して法則を発表した。それらのなかでロシアの学者D・I・メンデレーエフ(図2)が一八六九年に発表した周期律表が妥当だと評価され、多少の修正はあ

ったものの現在まで使用されている。

電子や陽子が発見される以前の物質の構造が正確には理解されていなかった時代に、地球に存在する元素に整然とした規則をもたらした周期律表は偉大な発見で「**化学の聖書**」という表現もあり、化学には当然として、科学全体の発展に多大の貢献をしてきた。その発表から今年は百五十年の節目になるため、国際連合の機関ユネスコが「**国際周期表年**」として、様々な祝賀行事を予定している。

一般の人々の話題になることはほとんどない周期律表が日本で話題になったことがある。二〇一六年十一月に**ニホニウム(Nh)**という日本の名前のついた元素が周期律表に記入されたことである。九三番目の**ネプツニウム(Np)**以後の元素は自然には存在せず、核融合や核分裂によって製造されたもので、日本の理化学研究所の人々が製造した原子番号一一三番の人工元素がニホニウムである。

産業のビタミンであるレアアース

この周期律表の升目には、それぞれ一個の元素の名前が記入されているが、左側から三列目、上部から六行目と七行目

の升目には元素の名前ではない参照記号が記載され、欄外に前者には原子番号五七から七一までの十五の元素の名前、後者には八九から一〇三までの十五の元素の名前が表記されている。それらの元素が非常に類似した性質をもっているため集約されているのである。

前者は最初の原子番号五七の**ランタン(La)**の名前から「**ランタノイド**」、後者は最初の原子番号八九の**アクチニウム(Ac)**の名前から「**アクチノイド**」と総称される。長々とした前置きであったが、今回はランタノイドの十五種類の元素に追加して、同列の四行目にある原子番号二一の**スカンジウム(Sc)**、五行目にある原子番号三九の**イットリウム(Y)**の十七種類の元素について紹介する。

これら十七種類の元素のうち最初に発見された**イットリウム**が一七八七年、最後に発見された**ルテチウム(Lu)**が一九〇五年というように、すべての発見までに百二十年の年月が経過している。それは相互に類似した性質をもち、分離して単独に抽出することが困難であったからである。これらの元素は英語で「**レアアース(希土)**」と命名されている。希少な資

源という意味である。

地球の表面(地殻)に存在する割合は金銀などより多量で、金の採掘可能埋蔵量の約五万トン、銀の約四十万トンに比較して、レアアースは数千万トンと推定されているが、分離精製に大変な手間がかかり生産が微量であるため、レアと命名されている。実際、世界全体で鉄鋼は年間約十六億トン生産されているが、レアアースは約十三万トンという規模であり、鉄鋼の〇・〇一%にもならない。

そのような少量の資源が注目されるのは、レアアースに「**産業のビタミン**」という呼名があるように、現代の工業製品にとって、需要は少量であるものの、必須の物質だからである。身近な製品では電力消費が節約できる**新型蛍光電球**の蛍光物質には**イットリウム**、**テルビウム(Tb)**、**ユウロピウム(Eu)**、**セリウム(Ce)**が使用され、**LED電球**には**イットリウム**、**セリウム**が使用されている。

より高精度を必要とする製品にも使用されている。パーソナルコンピュータからスーパーコンピュータまで補助記憶装置には**ハードディスク・ドライブ(HDD)**が使用されている。高速で回転す

る円盤に磁性材料を塗布し、情報を記録する装置である。円盤の素材はアルミニウムからガラスに移行しているが、そのガラスの表面を研磨する材料にセリウムが使用されている。

自動車はエンジンでガソリンを燃焼させたときに発生する有害排気ガスを浄化して外部に放出する必要があるが、その浄化装置にはプラチナ(Pt)、ロジウム(Rh)、パラジウム(Pd)などとともにセリウムが使用されている。次世代電気自動車はエンジンではなくモーターで駆動するが、そのモーターの磁石にはネオジム(Nd)やジスプロシウム(Dy)というレアアースが必須材料である。

しかもレア(希少)という言葉とは裏腹に大量に使用されており、次世代電気自動車のモーターの磁石にはネオジムが一キログラム、バッテリーにはランタンが十キログラム使用され、エネルギー問題と環境問題の切札と期待される風力発電の三メガワットの発電能力のある風車のモーターに組込まれている永久磁石には二千キログラムのレアアースが使用されている。

寡占状態にあるレアアース

このように先端技術製品にはレアアースが必須の材料であるが、重要な課題がある。現在ではテルビウムがグラムあたり六十円、ジスプロシウムが二十五円、プラセオジム(Pr)が十円、ネオジムが六円程度であるが、二〇一一年には、それぞれ四百五十円、三百円、三十五円、四十円と十倍近く高騰したことがある。主要産地である中国が内需優先で輸出を制

図3 レアアースの価格(¥/g)

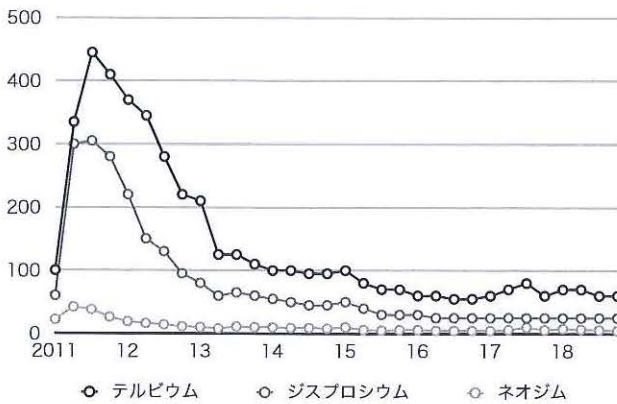
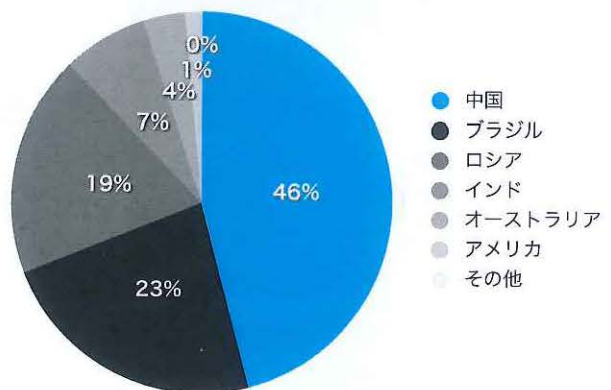


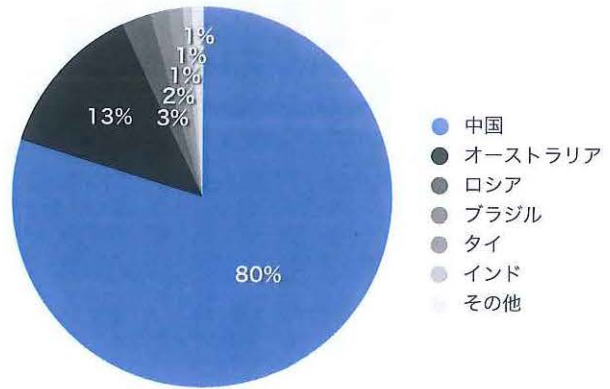
図4 レアアースの埋蔵量(2017)



限した結果である(図3)。

そのような政策が可能であるのは、資源も生産も特定地域に集中しているからである。埋蔵量では中国が四六%、ブラジルが二三%、ロシアが一九%、インドが七%、オーストラリアが四%、上位五カ国で九九%になる(図4)。生産量はさらに寡占で、中国が八〇%、オーストラリアが一三%、ロシアが三%、ブラジルが二%、タイが一%、これも上位五カ国が九九%を生産している(図5)。

図5 レアアースの生産量 (2017)



資源の埋蔵が少数の地域に偏在していることは変更できないが、生産が偏在しているには理由がある。採掘した鉱石を精錬するためには有害な化学物質を大量に使用するが、世界最大の埋蔵地域である中国北部の砂漠地帯の採掘し精錬している現場では、発生した有害な廃棄物質が大量に周辺に放出され、環境問題の原因となり、しかも労働している人々は防護手段なしで仕事をしている。

アメリカは世界六位のレアアース埋蔵

国であり、一九九〇年頃までは世界最大の生産国であったが、二十一世紀初頭に生産を中止し輸入に転換した。環境汚染による住民訴訟が長期の紛争になることの危惧である。現在は資源安全保障の観点から一部で生産を再開しているが、かつて原子爆弾に使用するプルトニウムの生産施設周辺の住民からの訴訟に苦労した経験から政策を転換したのである。

レアアース大国に転換する日本

日本はエネルギー資源も鉱物資源も大半を輸入に依存しており、レアアースも例外ではない。しかし、産業のビタミンとされる資源を少数の国家に依存することが脆弱であることは二〇一〇年代に経験している。そこで登場してきたのが日本列島周辺の排他的経済水域内の海底に堆積しているレアアースを含有する泥を採集し、そこから確保しようという国家戦略である。

二〇一一年に東京大学の加藤泰浩教授たちが、太平洋の深海底に堆積している泥に、中国の陸上の鉱石に比較して二倍から五倍の濃度でレアアースが含有されていることを発見した。さらに二〇一三

年には日本の東端にある南鳥島周辺の排他的経済水域内の海底に堆積している泥に中国の鉱山の約二十倍という超高濃度でレアアースが含有されていることも発見した。

現在、日本は年間約二百億円のレアアースを輸入しているが、今後は先端の工業製品に使用され何十倍にも増加していく。しかし、日本の排他的経済水域内に陸上の鉱物よりも含有比率が高度な資源が存在し、しかも量的には陸上の埋蔵力の約一千倍にもなると推定されている。さらに陸上の鉱物から抽出する方法よりも簡単な方法でレアアースを抽出できるという利点もある。

日本の国土面積は世界の六十番目程度で、鉱物資源も十分に埋蔵されていない。しかし、日本に優先利用する権利のある排他的経済水域は世界八位の広大な面積である。これまでは世界有数の水産資源国家として利用してきたが、これからは世界有数の鉱物資源国家となることが可能になる。産業のビタミンを摂取して、世界有数の健全で頑強な国家となることが期待される。