

鉱物資源の安定供給と環境問題

木谷 晋市 西本 秀樹 岡本 哲和 名取 良太 伊藤 俊秀

Stable Supply of Mineral Resources and Environmental Problems

There are many factors which can become obstacles against the stable supply of mineral resources, and unstable supply causes serious disruptions in both the economy and industry. In Information Technology (IT) industries, some rare metals used as high function materials are immediately needed for import. For instance, small condensers for mobile phones or laptop personal computers require powdered tantalum. Recently, this powdered tantalum is in short supply as the demand for I.T. products increases rapidly. This shortage causes a steep rise in price and the market shifts to speculation. Shortages are the most serious problem in Japan, worse than high prices, because we consume 20-25% of the world's products, that is, lack of resources affects not only the economy but also technology.

Since supply conditions for each metal are different, it is impossible to simply discuss the reason why shortages occur. For the base metals that have a long history of use like copper, iron, lead and zinc, it is relatively easy to clarify their market mechanism, while for most rare metals it is difficult to discuss the relation between supply and demand. In the IT industry, munition industry or space development, new materials are continuously developed from many rare metals, and market mechanisms are always changed by these new materials.

In such conditions, the gap in environmental safeguards among countries becomes a serious problem because it highlights the difference of ability in price competition. Developed countries generally load more expenses than developing countries for environmental safeguards, therefore, developing countries have more advantages than developed countries. As a result, many metal mines in developed countries must be closed, and maldistribution of rare metals becomes worse; price manipulation would be easier by monopoly or oligopoly. On the other hand, developing countries make global environmental problems worse because of their resource extractions. In this paper, the basic conditions for a stable supply are considered first, and then shortages, which are caused by environmental problems, is considered.

1. はじめに

鉱物資源の供給障害はさまざまな原因で起こり、社会的混乱を引き起こすことはよく知られている。とくに、機能性材料として情報化社会をささえるレアメタルのなかには、緊急に対応を迫られている資源がみられる。最近の事例を挙げると、粉末のタンタルは小型のコンデンサーを製造するには欠かせない素材で、近年の携帯電話、コンピュータなど急激な普及にともなって需要は大幅に伸び、供給不足となっている。この数年の動きは過激で、一時的には東南アジアで放置されていた錫スラグからタンタルが回収されたがすぐに底を尽き、新規鉱山の開発が待望されている。この供給不足は、当然のこととして価格の高騰を招き、投機の対象ともなっている。市場の混乱は現在も続いており、一部のタンタルメーカーでは、原料不足から製品の出荷ができない事態にまでなっている¹⁾。このように、毎年、新素材を種々組み合わせ付加価値の高い製品がつぎつぎに生みだされている中で、供給障害は最も深刻な問題であり、価格以上に重要な問題を孕んでいる。とくに、わが国の消費量は世界生産量の20~25%を占めており、供給障害から受ける影響は大きい。

それでは、安定供給を崩す原因にはどのようなものがあるか。これは個々の金属により事情が異なり、まとめて論ずるのは困難である。古い歴史をもつ金属では比較的需給構造を明らかにすることはできるが、IT産業をはじめ、ハイテク産業、軍需や宇宙開発に偏った需要をもつレアメタルの多くは需給構造が不透明である。変化の激しい新素材の開発、冷戦時代が終わり旧ソ連邦諸国の市場経済への参画などにともない、需給構造は変動し、価格の高騰、暴落を繰り返している金属が多くみられる^{2) 3)}。

とくに最近注目されているのは環境問題に対する対応の相違から生じる競争力の格差である。一般に、開発途上国では資源開発における環境対策が、先進工業国に比べて立ち遅れている。このため、環境対策にかかわるコスト負担は相対的に低く済み、労働コストが低いこともあいまって、価格競争力が高く、結果として先進工業国の鉱山の閉山を招いている。このことは、資源の偏在性をさらに高めることにつながり、独占、寡占をベースとする価格操縦はもとより、新たな供給障害の要因として懸念されている。そこで本稿では、鉱物資源の安定供給について概観し、環境問題がもたらす供給障害について考察する。

2. 鉱物資源の多様性と供給障害

2.1 ベースメタルとレアメタル

現在では、自然界のほとんどの金属が何らかの形で使われている。これらの金属の分類にはきまったものではなく、通常は、伝統的に多量に使われているベースメタルと、消費量は少ないが新素材で重視されているレアメタルに区分される。金属43種と原油について、市場規模、価格、生産量を比較すると、いずれも100万倍以上の大きな差があり、一つのグラフにまとめるには、対数でしか表せない。たとえば、ベースメタルの銅、亜鉛、鉛の需要量はいずれも100万トンを超

え、市場規模も大きいですが、レアメタルはまちまちである。IT 産業との関連で注目されているコバルトとタンタルについて、銅を基準に、市場規模、価格、生産量を比較すると、コバルトでは銅の $1/30$ 、14 倍、 $1/424$ で、タンタルは $1/9$ 、755 倍、 $1/6870$ となっている（図 1）。なお、銅の市場規模は原油の $1/30$ である。このように、市場規模、価格、生産量のほか、用途、生産国なども資源種によって大きな相違がみられる。

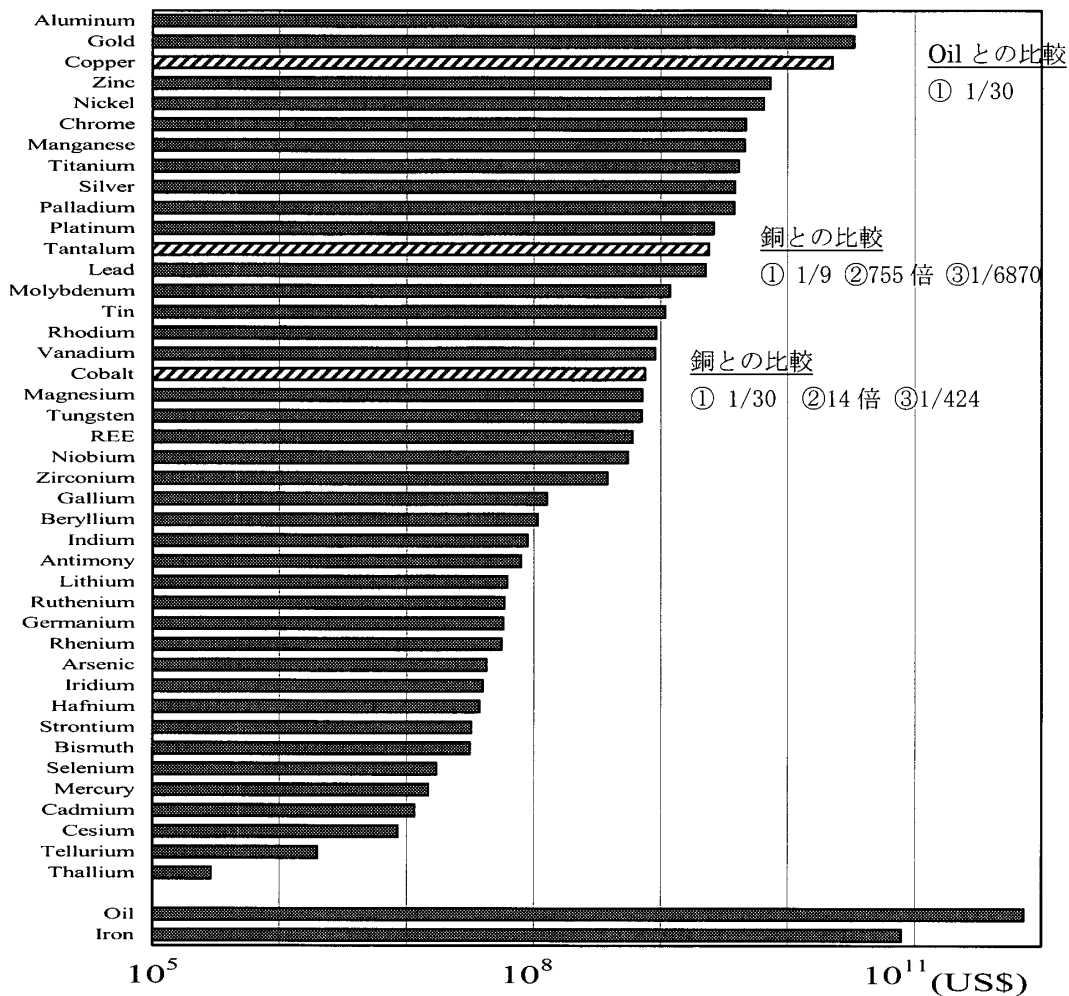


図 1 金属資源と原油のマーケットシェア ³⁾⁴⁾

比較計算は、①市場規模 ②価格 ③生産量（各金属/Oil 又は銅）

2.2 資源の偏在性と市場の安定性

資源の偏在性は、古くから資源の安定供給を乱すもっとも大きな原因として指摘されている。図 2 は、偏在の著しい鉱物資源 15 種とベースメタルについて、国別に上位 3 位までの埋蔵量を比較したものであるが、白金の 90%、クロムの 83%が南アフリカに、ニオビウムの 90%がブラジルに、バナジウムの 50%がロシアに賦存している。これらのレアメタルは、暴動や突発的地域紛争の起こりやすいアフリカあるいは南アメリカおよび旧共産国に集中し、カントリーリスクが大きいことがわかる。一方、ベースメタルはレアメタルに比べると多くの国に分散しており、政治

的に安定した国が含まれている。

このような偏在性は必然的に供給を不安定なものにし、市場価格にも反映している。1990年の価格を1として、1975年から2000年までの価格推移をみると、鉄、銅、アルミニウム、亜鉛は0.5から1.5までの範囲で比較的安定に推移している（図3(a)）。これに対し、レアメタルの価格変動は激しく、なかには10倍近くまで高騰したこともある（図3(b)）。これは市場が小規模であることに加えて、資源の偏在性が大きな要因となっている。

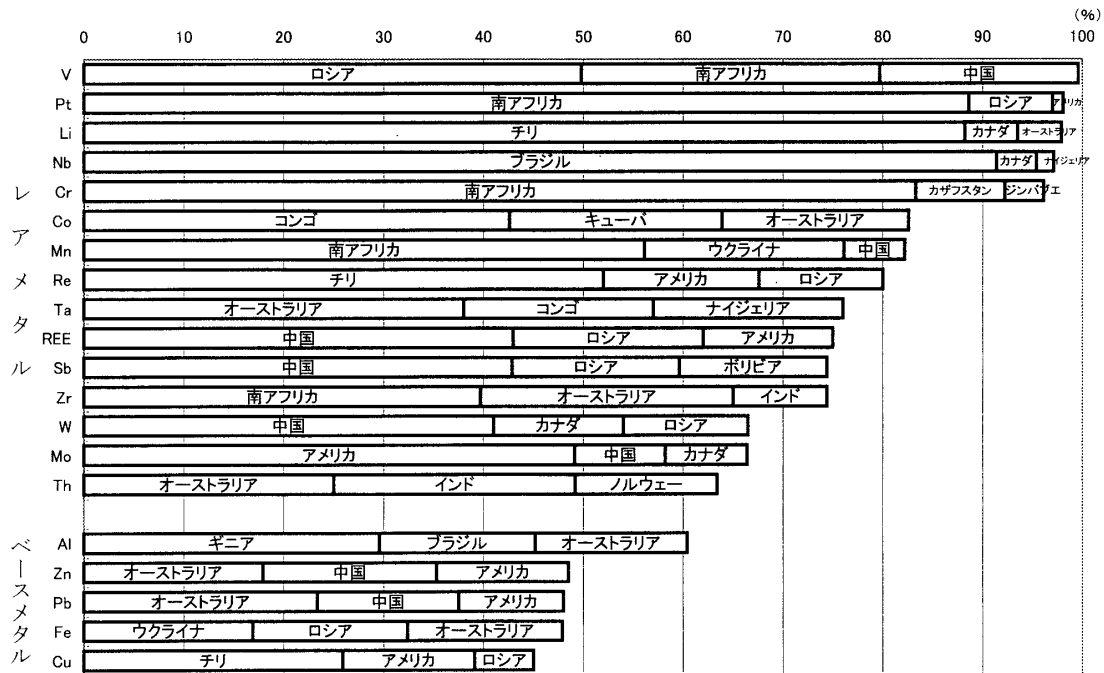


図2 レアメタルとベースメタルの国別埋蔵シェア（上位3カ国）³⁾⁴⁾

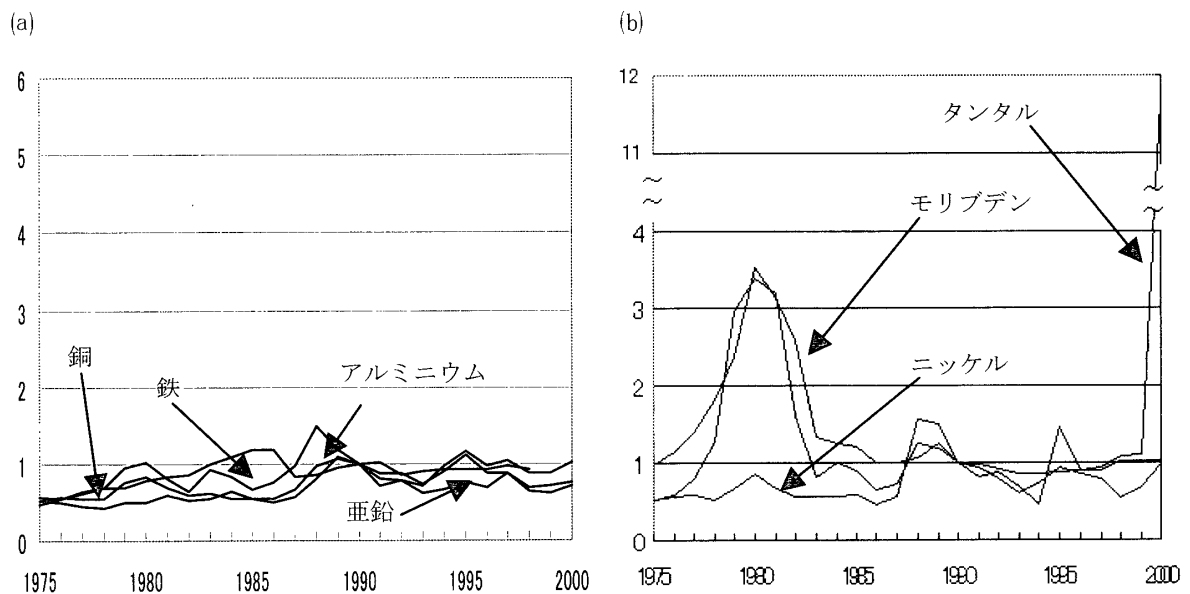


図3 主なベースメタルとレアアースの価格推移（1990年の価格を1とする）³⁾⁴⁾

(a)ベースメタル (b)レアアース

2.3 価格変動と資源開発

価格の変動は、基本的には需給バランスを中心として起こる。急激な変化が起こると投機の対象となり、市場は大きく混乱する（図4）。これまでに市場を大きく混乱させた具体的な原因として、国際紛争、労働争議、投機、急激な需要の増加あるいは減少などがある。たとえば、シャバ紛争によるコバルトの高騰、ヤング兄弟による銀市場への投機、冷戦構造の崩壊とともに生じたメタルパニック、超小型コンデンサー需要の急激な増加によるタンタル需要の逼迫などが挙げられ、年平均価格の最大変動幅は数倍を超えている。高騰しやすい市場であるがために、投機性も高い。しかし、価格が上昇するとあわてて生産の拡張や新規鉱山の開発が行なわれるので、価格の高騰は、通常は一時的なもので、やがて落ち着く。ところが、価格の上昇を背景とする開発計画は市場規模を無視して立てられ、しばしば生産過剰になり、価格は暴落することになる。暴落すると閉山があいつぎ、供給不足となり、再び高騰する。このような乱高下がしばしば起こる。これは対象金属が独自の開発鉱山をもつ場合であるが、レアメタルの中にはベースメタルなどの生産過程で副産物として産出されるものもある。この場合は独自の開発鉱山をもつ金属とは異なり、供給の増産と減産において自由なコントロールができず、主生産物の生産動向に影響されたものとなる。

一方、ベースメタルについては、レアメタルに比べて価格変動は小さいが、取り扱い量が多いので、社会的影響は大きい。ベースメタルでは、必ずしも、価格が上昇すると生産の拡張や新規鉱山の開発が行なわれ、価格が低下すると減産や閉山するという単純な動きをしていない。たとえば、現在の銅価格は低迷しているが、それにもかかわらず、チリではコストの低い銅鉱山が積極的に開発され、増産されている。一方で、北米の既存鉱山は採算ぎりぎりでの操業に追いやりられ、閉山する鉱山もあり、結果として寡占化が加速している。

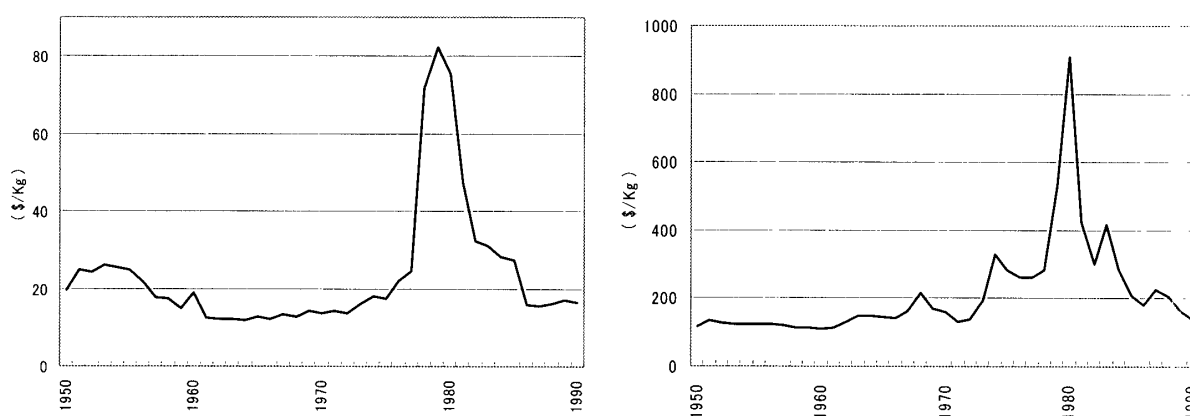


図4 市場を混乱させる価格変動³⁾⁴⁾

(a)ザイールの労働争議によるコバルト価格の高騰 (b)投機的思惑によって高騰した銀価格

2.4 科学技術の発展と安定供給

先端科学技術の研究・開発努力は高機能材料に向けられ、物理的、化学的に特異な性質をもつ

た付加価値の高い製品をつぎつぎに生みだしている。この動きは、特別の金属を必要とし、原料面では、従来の安価で多量の供給から高品質で少量の、安定した素材の提供が求められるようになる。この技術開発の急激な展開は、予期せぬ鉱物資源の需要を呼び起こし、資源の需給構造を大きく変換させることがある。

一例をあげると、レアアース（希土類元素）は、17元素の総称で、ライターの石やガラス工業で少量消費されるにすぎなかったが、その一つであるサマリウムとコバルトからなる強力な希土磁石が発見され、実用に供されるとサマリウムの急激な増産が必要となった。

つづいて、さらに磁気特性の優れたネオジム・鉄・ボロン磁石が開発されると、こんどはネオジムの増産が必要になり、サマリウムは余るようになった。この動きに対応してレアアースの供給構造は大きく揺れ動いた。レアアースはもともと耐用年数1,300年を超えており、ライターの石やガラス工業への供給には問題はないが、希土類のなかの特定の元素であるネオジムやサマリウムが必要になると、あらたにレアアースの再分類に迫られる。すなわち、自然界では希土類元素は一緒に産出するがその相対比は異なっており、ネオジムやサマリウムなどの中・重希土類が注目されると、中・重希土類の多い中国のイオン吸着鉱と呼ばれる鉱石が急に重視されるようになる。ところが、この種の希土類鉱床は、きわめて限られ、偏在している。現在のレアアースの供給構造は、流通、カントリーリスクなどの問題もかかえており安定したものとはなっていない。

2.5 リサイクルの可能性

近年、リサイクルに対する考え方は、環境問題を背景として、先進工業国の共通した社会的要請となっている。これまでのリサイクルは利潤が上がるからやるということが原則であったが、増大を続ける廃棄物は、海の埋立あるいは山間部の処理地問題を喚起し、廃棄物の減量化あるいはリサイクルの必要性は差し迫った深刻な社会問題となっている。また、廃棄物のなかには、有害物質の拡散を防止し、無害化しなければならないものも含まれている。

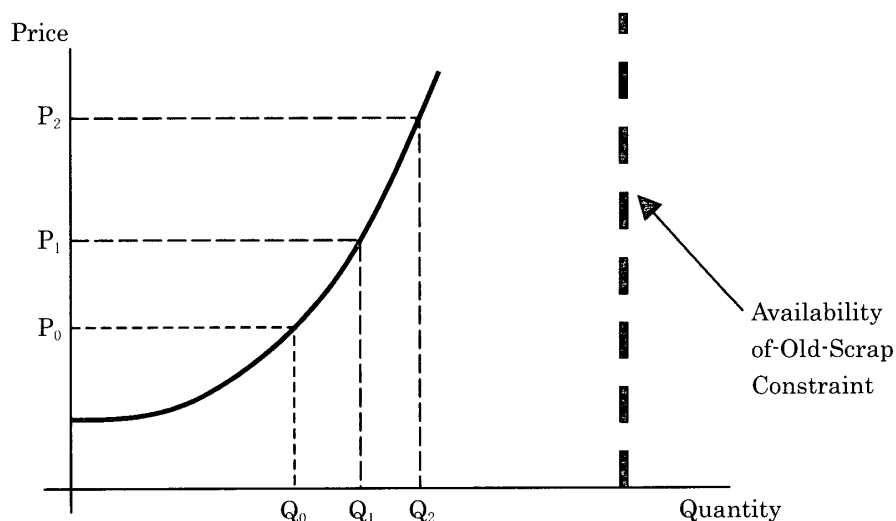


図5 リサイクルの供給曲線

しかしながら、リサイクルは決して経済性を無視して行われるものではない。循環型社会という標語のもとに、すべての資源が繰り返し使われ、新しい資源の補給は不要になるという考えがあるが、これは経済的観点が無視されている。このような社会では、回収される資源はきわめて高価なものになり、エネルギーも多量に必要とする。すなわち、リサイクルにより回収できる量は価格により決まるが、回収率を上げると急激に上昇する。図5において、リサイクルにより利益をあげることができる回収価格を P_0 とすると、回収量は Q_0 である。これに、環境としての価値、ストックとしての価値を組み込んで評価し、回収価格が P_1 、 P_2 にあがったとしても、回収量は Q_1 、 Q_2 に上昇するだけで、依然、きわめて限られたものととどまる。

価値をもった廃棄物とは、一定量確保され、再生物の需要があり、環境としての価値を加味した価格が経済性をもったものである。したがって、潜在的資源としての廃棄物を顕在化していかなければならないが、この点では、ベースメタルとレアメタルでは大きく異なり、量産されているベースメタルについてはほぼ上記の考えに基づいた回収システムが可能であろう。しかし、廃棄量の少ないレアメタルでは、有害物質を除き、回収価格は、利益をあげることができる価格 P_0 に近いものとなる⁵⁾。

以上から、リサイクル量は増加するものと推察されるが、近い将来、現在の資源供給状況を大きく変えるようなものにはならない。

3. 環境問題と資源供給

3.1 資源開発にともなう環境問題

資源開発は環境破壊をともなう。身近な例では、おもに石灰や砕石などの露天鉱山で問題とされる、塵、騒音、景観、あるいは輸送ダンプによる問題から、金属鉱山が引き起こす砒素やカドミウムなどの中毒問題まで、さまざまである。人の健康に直接影響をもたらす中毒問題に関して、これまでにわが国で起こった例だけでも、足尾砒毒事件など枚挙に暇がない。すでに閉山した鉱山においても環境破壊は続いており、秋田県の松尾砒毒山や岐阜県の神岡砒毒山、あるいは京都府北部の鉄砒毒山では、百億円にのぼる投資で坑廃水の中和処理施設を建設し、中和処理に、毎年、数億円の費用をかけている。また、近隣で生産された、有害金属を多く含む稲作物を購入して、廃棄している現状がある。

金属汚染の問題に限って言えば、稼動中の鉱山においては、選鉱の対象外となった金属含有量の低いズリを放置することで、これらの金属成分が雨水などに含まれて近隣の河川を汚染することが環境破壊の原因となっている。また、稼動中の鉱山においても同様ではあるが、閉鎖された鉱山で切羽が放置されると、切羽面に露出した金属鉱物部分を地下水や雨水が流れ、金属を多く含む水が近隣の河川に流れ込むことで汚染が広がる。現在の技術では、このような汚染に対する恒久的な対策はむずかしく、莫大な費用をかけて汚染された坑廃水を化学的に処理し、金属成分を取り除くより方法はない。

3.2 環境問題と供給障害

そもそも、資源開発における環境問題が注目されたのは、アラスカの原油開発にともなって敷設されたパイプラインの環境破壊が最初であるといわれている。これ以降、先進工業国においては、資源開発に関する環境保護の監視が強まり、鉱山の稼動には莫大な環境対策費が必要となった。しかしながら、資源開発における環境問題に関する規制、費用負担は国ごとに異なっており国際的に共通のコンセンサスがなく、各国の資源開発現場における環境対策については、先進工業国と開発途上国における客観的な比較すらも整っていないのが現状である。

近い将来、鉱物資源が物理的に地殻から枯渇することは考えられないが、環境対策の違いによって価格の高騰が生じ、事実上の枯渇が生じることは十分に考えられる。実際問題として、たとえば銅を考えてみると、供給価格の低迷にもかかわらずチリにおける増産は進み、開発計画も積極的に促進されている。世界的な不況ともあいまって、供給価格の低迷は続き、先進工業国の鉱山経営は逼迫している。現に、閉山を計画している鉱山もあり、一旦、閉山を余儀なくされれば、たとえ価格が元の水準に戻ったとしても、鉱山の再開は新規開発よりも多くの資金を必要とする。先進工業国と開発途上国において、このような競争力の相違が生じた理由は、賃金格差も原因のひとつではあるが、環境規制や環境意識の相違による環境対策コストの格差も大きな要因となっている。このような状況が続けば、銅のケースでは、チリやインドネシアなどの鉱山の寡占化が進むことは必至であり、価格操縦が可能となる。結果として、資源の実質的な偏在性が高まり、開発途上国の環境がより破壊され、汚染物質をグローバルな規模で排出することにつながる。

IT産業に欠かせないレアメタルは、もともと偏在性が高い上に、その抽出には、放射能汚染など多くの環境問題を抱えている金属も多い。現に、米国と中国のレアアース鉱山では、環境対策に要するコストの相違から競争力に格差が生じており、米国鉱山が低迷する一方で、中国の鉱山周辺の河川汚染が深刻化している。将来にわたる資源の安定供給と環境保護を実現させるためには、国際的に共通の枠組みを構築し、資源開発において各国が同等の環境対策を行う必要がある。

4. おわりに

鉱物資源の供給障害は、資源の偏在性と市場の投機性を大きな要因としている。一方で、ITの進展にともない、新たな需要はベースメタルからレアメタルへとシフトしており、とくにレアアースの需要増が注目されている。少量需要が中心であるレアメタルにおいては、リサイクルによる資源再生を期待することはできない。このような状況の中で、環境問題への対応の差から、開発途上国と先進工業国との間で価格競争力の格差が拡大しており、結果として、資源の偏在性を高めている。本稿で述べたように、環境対策に関して共通のコンセンサスが得られない限り、資源の偏在性は、概して政情不安な国の多い開発途上国に偏ることになり、供給障害の可能性が高まることは必至である。先進工業国が、これまでに何の環境規制もなく工業化してきたのに対し、開発途上国に環境対策を強いるのは不公平だとの議論もあるが、開発途上国は、これまでに先進

工業国が蓄積してきたテクノロジーを基礎にして工業化を進めている。経済力や、歴史的経緯からではなく、環境保護といった共通のコンセンサスに基づいて、グローバルな環境対策に向けた認識が必要となってきた。

本研究は、平成十三年度関西大学重点領域研究助成金において、研究課題「資源・環境政策にかかわる政策評価システム」として研究費を受けたものの成果として公表するものである。

参考文献

- 1) 西川有司・桐野逸典, タンタル資源の現状と将来, エネルギー・資源, p.49-54, 2001
- 2) 中村英克, レアメタルの安定供給と国家備蓄の役割, エネルギー・資源, p. 55-60, 2002
- 3) 長谷川良佑, レアメタル, 産業図書, p.22-40, 1992
- 4) 資源経済部門委員会, 世界鉱物資源データブック, オーム社, p.1-677, 1998
- 5) John E. Tilton, The Future of Recycling, *Resources Policy*, Vol. 25, No.3, pp.197-204, 1999