

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.8
「鉍物資源使用」カテゴリーの
特性化係数



NIMS-EMC 材料環境情報データ No.8
「鉍物資源使用」カテゴリーの特性化係数

2005年3月

執筆者

原田幸明

井島 清

(独) 物質・材料研究機構
エコマテリアル研究センター

はじめに

環境の世紀とも呼ばれる21世紀になって、経済活動や生活のあらゆる局面で地球環境を考慮した改変が進んでくるようになってきています。そのような中で素材や材料は、あらゆる製品をかたちづくっている存在であり、かつ、資源として地球環境圏から取り出され、廃棄物として地球環境圏に戻される、地球環境に密接に係わった存在でもあります。それゆえ素材の製造者だけでなく、製品の製造者、使用者、さらには処理に係わる人達すべてが、使用されている素材に対して、その素材に係わる環境負荷やリサイクルのしやすさ・状況等を的確に知り資源生産性の向上や持続可能な社会に向けた選択に生かして行くことが重要です。

しかし、そのために必要な材料の環境負荷や循環に対する情報はまだあまり整備されておられません。中には一部の側面だけを肥大化させた情報などが散見され判断に困る場合も出てきています。

このような状況に対し、エコマテリアル研究センターでは、信頼性における材料環境情報の整備が物質・材料研究の中核機関として欠くことのできない努めであると判断し、ここに、NIMS - EMC 材料環境データをシリーズとして発行する事にしました。なお、NIMS は物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science) の略、EMC はエコマテリアル研究センター (EcoMaterials Center) の略です。データ集やデータベースとは若干趣は異なりますが、専門家による綿密な聞き込み調査などをもとに統計資料などでは得られない材料の製造や循環に係わるデータや、LCA 的な考察に不可欠の材料データなどを提供して行きたいと考えております。

2005年

物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター長

原田 幸明

目次

- 1．目的
- 2．インベントリー項目の抽出
 - 2．1．「鉱物資源使用」のインベントリー項目
 - 2．2．「鉱物資源使用」のストレス因子カテゴリー
 - 2．3．鉱物資源の持続性（枯渇性）に関する議論の整理
- 3．鉱物資源の持続性を議論するためのデータ
 - 3．1．各種データの所在
 - 3．2．統計データについて
- 4．資源枯渇性の特性値化の方法
 - 4．1．ストック資源の資源枯渇性の特性値化の検討
- 5．資源指標としての取り扱いについて

1. 目的

「鉱物資源使用」カテゴリーを評価するに当たり、資源枯渇性等環境面を考慮して、適切なインベントリーを抽出し、抽出されたインベントリーを特性化する係数を作成する。

LCI 解析の際に重要な指標となる鉱物資源の枯渇性のキャラクターゼーションを行う際には、どのようなデータベースを使用するかが課題の一つである。本調査においては、データベースとなりうる可能性を持ついくつかについて、信頼性・入手容易性・対象鉱物種の大きさ等の視点からこれら进行评估する。また、政府統計または責任ある業界等から公表されている採掘・製造や需要・使用・流通に関わるデータを取得する。

2. インベントリー項目の抽出

2.1. 「鉱物資源使用」のインベントリー項目

2.1.1. 経済活動としての「資源」

インベントリー分析の中で、原料資源の使用は、エネルギーの使用と並んで重要な、各サブプロセスのインプット項目である。個々のサブプロセスにおいては加工原料としてインプットされた原材料も、上流に遡及していくことによって最終的には、地球環境から与えられた資源に帰着する。多くのLCAでは、この地球からの資源採取をシステム境界の始端として採用するため、この採掘、採取、採集、収穫などと呼ばれるサブシステムが地球環境との界面に存在し、そこでの採掘物や収穫物が地球環境から人間圏（経済圏）に取り込まれる最初のインプットのひとつになる。

ここで、LCAのインベントリーとして、まず前提にしておく必要があることは、このインプット項目は人間経済圏への取り込みの過程で生じる物質フローとして生じているということである。ここで、「資源」、特に鉱物資源に関しては、下記のような3つの異なる視点から「資源」という用語が用いられている。

地質学的資源
鉱業的（経済的）資源
環境学的資源

地質学的「資源」は、地殻における元素の分布や鉱床学的に分類による「資源」概念であり、実際に手にすることが可能か可能でないかに係らず、客観的な実態として物理的に存在しているものを指す。これは、実際には、人間の探索能力、未知の部分に対する予測能力などの限界はあるものの、比較的客観性のある量をもって議論することができるものである。

環境学的「資源」は、逆に、「地球資源」などという総称の下で情緒的に用いられる資源概念である。たとえば、「水資源」と述べた場合に、どの部分の水の量を定義するのは、議論する人やそのときの対象によって往々に変化する性格のものである。基本的な考え方としては重要な概念を内包しているが、科学的な議論においてはあいまいさが残る存在である。

経済的（鉱業的）資源は、現在の技術・経済レベルで有用物として獲得することの出来る資源を指す。このことは、二つの重要な意味を持っている。一つは、鉱物学的資源に対して、あくまで現在の技術・経済レベルを対象としているため、資源の対象となっているものの量は経済・技術の変化によって変化するということであり、今ひとつは、特に環境学的資源に対して、廃土、排水のような経済外の部分が含まれていないということである。

このような3つの異なる資源概念の中で、LCAのインベントリー分析が対応している項目は、「人間経済圏への取り込みの過程で生じる物質フロー」であることから、「鉱業的（経済的）資源」であるとするのが妥当である。

2.1.2. インベントリー項目として取り上げるべき鉱物資源

先述のように、インベントリー項目としての「資源」を経済活動による「資源」として捕らえるならば、それは、経済的な商品項目と一致していなければ定義が不明確になる。

わが国においては、総務省が「日本標準商品分類」ⁱを定めて、標準化を行っている。基本的に、この「日本標準商品分類」と一致させてインベントリー項目を定めるのが妥当である。なお、この「日本標準商品分類」は、関税協力理事会（CCC）で定めたHSコード（The Harmonized Commodity Description and Coding System）と対照されており、特に鉱物資源のように国際的な取引の対象となることの多い品目の定義としては、国際的同一性の確保の観点からも妥当であると言える。

なお、このように商品分類で取り扱うことに関しては、廃土となる部分などの経済活動に含まれない“bads”のマテリアル・フローの観点からは、まだ議論の余地があるものと思われるが、まず、経済的行為としてのマテリアル・フローの観点からインベントリーをくみ上げ、それをもとにサブシステムでの過剰の投入や処理すべき排出物、環境への排出物などの取り扱いとして議論していくべきものとして、ここではまず経済的価値を有するものとして「資源」のインベントリーを取り上げている。

資源関係で「日本標準商品分類」において対象となるのは以下に示す、大分類1 粗原料及びエネルギー源の部分である。

この大分類の中には、生き物や農産物なども含まれており、その中で、鉱物資源にかかわる部分は、

04 金属資源

05 非金属鉱物および岩石

の部分、さらにエネルギー資源関係では、

06 石炭および石炭製品の 06 - 1から06 - 3の部分

07 石油および石油製品の 07 - 1

08 電力、ガスおよび用水の 08 - 2のガスの一部

が該当する。なお、今回は、エネルギー資源にかかわる部分は以降言及しない。

表1 - 2 粗原料及びエネルギー源

ⁱ 「日本標準商品分類」 Standard commodity classification for Japan, 総務省、1990

大分類1 粗原料及びエネルギー源

<p>01 生き物</p> <p>01 1 牛</p> <p>01 2 馬</p> <p>01 3 めん羊</p> <p>01 4 やぎ</p> <p>01 5 豚</p> <p>01 6 うさぎ(野と(兎)), 実験動物を除く。)</p> <p>01 7 家きん及びその卵</p> <p>01 8 種繭及び蚕種</p> <p>01 9 その他の生き物</p> <p>02 動物粗製品</p> <p>02 1 原皮(毛皮を除く。)</p> <p>02 2 原毛皮</p> <p>02 3 原羽毛</p> <p>02 4 水産動物生産品</p> <p>02 5 薬用動物原料</p> <p>02 6 骨, ひずめ及び角</p> <p>02 7 動物性粗製繊維</p> <p>02 9 その他の食用以外の動物粗製品</p> <p>03 植物粗製品</p> <p>03 1 種子(油脂用種実を除く。)</p> <p>03 2 油脂用種実, 油脂用堅果及び油脂用種核</p> <p>03 3 種苗</p> <p>03 4 花き</p> <p>03 5 木材の素材</p> <p>03 6 未加工のたばこ</p> <p>03 7 未加工のゴム, 天然樹脂及びバルサム</p> <p>03 8 非食用未加工海藻類</p> <p>03 9 その他の食用に供しない植物粗製品</p>	<p>04 金属鉱物</p> <p>04 1 貴金属鉱</p> <p>04 2 非鉄金属鉱</p> <p>04 3 鉄属鉱</p> <p>04 4 軽金属鉱</p> <p>04 5 希有金属鉱</p> <p>04 6 放射性鉱物</p> <p>04 9 その他の金属鉱物</p> <p>05 非金属鉱物及び岩石(石炭及び石油を除く。)</p> <p>05 1 建設材料となる鉱物・岩石</p> <p>05 2 工業原料となる鉱物・岩石(別掲を除く。)</p> <p>05 3 耐火物原料となる鉱物・岩石</p> <p>05 4 陶磁器原料となる鉱物・岩石</p> <p>05 5 肥料原料となる鉱物・岩石</p> <p>05 6 物理的特性を利用する鉱物</p> <p>05 7 研削・研磨材及び工芸用鉱物</p> <p>05 8 粘土鉱物(別掲を除く。)</p> <p>05 9 その他の非金属鉱物及び岩石(石炭及び石油を除く。)</p> <p>06 石炭及び石炭製品</p> <p>06 1 石炭</p> <p>06 2 亜炭</p> <p>06 3 泥炭及び草炭</p> <p>06 4 石炭製品(亜炭製品を含む。)</p> <p>06 9 その他の石炭及び石炭製品(亜炭製品を含む。)</p>	<p>07 原油及び石油製品</p> <p>07 1 原油及び関連天然粗製品</p> <p>07 2 石油製品</p> <p>07 9 その他の石油及び石油製品</p> <p>08 電力, ガス及び用水</p> <p>08 1 電力</p> <p>08 2 ガス</p> <p>08 3 用水(導管により供給するものに限る。)</p> <p>09 その他の粗原料及びエネルギー源</p> <p>09 1 木炭</p> <p>09 2 木質燃料</p> <p>09 9 他に分類されない粗原料及びエネルギー源</p>
--	---	--

下線部の中に、鉱物資源に該当する項目が含まれる。

2.1.3. インベントリーの対象となる非金属鉱物資源

表1-2の中には、半製品や加工品も含まれている。そこで、これらの半製品や製品を除いて鉱物「資源」に該当するものだけをピックアップした。

まず、中分類05 「非金属鉱物および岩石」 に関する部分を示す。

表の左端が標準商品コードである。参考のために、対応すると思われる産業連関表のコードを第二列に示した。産業連関表のコードは、より大きな概念でまとめられている場合が多いため、そのような上位概念の場合が第三列に記されている。第三列が第四列と一致している場合は、商品コードと産業連関表コードが一致しているとみなしてよい。第四列が資源名である。インベントリー項目としては、この名称を用いることが推奨される。

参考のために、代表的な組成や用途を記した。特に、機能性を期待して用いられる素材の場合には、機能獲得のために不可欠な素材でも製品化段階のサブシステムでのマテリアル・フロー表記で欠落させられるケースが往々に存在するので、この用途を参考にしてインベントリーからの欠落を防いでもらいたい。右端の二列は、わが国の国内需要と価格の概略的な値である。これらの数字が大きい場合には、使われている頻度や遡及したプロセスへの影響が大きいことが予測されるので、これもインベントリーからの欠落を防止する情報として示しておいた。

中分類05 「非金属鉱物および岩石」はさらに9の分類に細分化されている。それにしたがって、リストアップした。なお、商品コードがないものがあるが、それは「鉱産物の取引の基礎知識」という書籍の中にあって標準商品コードにないものであり、参考のためにそれも記載した。

表 1 - 3 0 5 - 1 建設材料となる鉱物・鉱石

商品 コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
11	0622012	石材	花崗岩	granite	SiO ₂ .Al ₂ O ₃ .K ₂ O.Na ₂ O	石材	1000	30
121	0622012	石材	安山岩	andesite				
122	0622012	石材	玄武岩	baslt				
13	0622012	石材	凝灰岩	Tuff				
14	0622012	石材	大理石	marble	CaSO ₄	建築石材	80	80
151	0622012	石材	粘板岩	slate	SiO ₂ .Al ₂ O ₃ .MgO	屋根、 内外装	10	50
152	0622012	石材	頁岩	shale				
153	0622012	石材	砂岩	sand stone				
154	0622012	石材	泥岩	Mud stone				
1611	06220111	砂・砂利	砂	sand				
1612	06220111	砂・砂利	砂利	gravel			350000	1.5
1613			玉石	cobble stone				
162	06220211	→	碎石	gravel stone			400000	1.2
193	0622012	石材	石英粗面岩	liparite				

表 1 - 4 0 5 - 2 工業原料となる鉱物・鉱石

商品 コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
2111			硫黄	sulpher	S	ゴム、医薬、無機化学、合成洗剤	1300	330
221			螢石	fluorspar	CaF ₂	鉄製錬、アルミ精錬	567	15
231	0629099303	黒鉛	黒鉛	graphite	C	炭素鉱業	90	100
24			石膏	gypsum	CaSO ₂ ・2H ₂ O	型材、セメント、医療	3000	5
25	06210191	珪石	珪石	white silica stone	SiO ₂	半導体、レンズ、ガラス	18000	1
261	06210192	珪砂	珪砂	silica sand	SiO ₂ の多い砂	板ガラス、ガラスウール	6500	5
27	0621011	石灰石	石灰石	limestone	CaCO ₃	セメント、鉄鋼、炭化カルシウム	200000	1
281	06210193	苦灰石	苦灰石	dolomite	CaCO ₃ ・MgCO ₃	土建、鉄鋼、耐火物、石灰、ガラス	4000	1.2
282			ジルコン	zircon sand	ZrO ₂ ・SiO ₂	セラミクス、鑄物砂、耐火物	80	50
			ボーキサイト	bauxite	Al ₂ O ₃ ・nH ₂ O	Al、Al ₂ O ₃		4
			チタン鉱	Ilmenite	TiO ₂ (FeO)	無機化学、Ti	700	15
			ストロンチウム 鉱石	satin spar	SrSO ₄	蛍光体、試薬、ブラウン管	70	30
			明礬石	alunite	3Al ₂ O ₃ ・4SO ₂ ・6H ₂ O(Na ₂ O)	医薬、食品、洗浄、顔料		
			砒鉱	arsenopyrite	FeAsS	ガラス清浄剤、顔料、農業	0.4	480

表 1 - 5 05 - 3 耐火物原料となる鉱物・鉱石

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
32	06210194	鱧石	鱧石	pyrophyllite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	窯業炉、印材、 陶磁器、タイル	1000	20
33	06210195	耐火粘土	耐火粘土	fire clay	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	陶磁器、 耐火煉瓦	700	15
341			菱苦土鉱	magnesite	$MgCO_3$	耐火物、 食品添加物、 木材防腐剤、 氷結防止剤	300	8
35			ボーキサイト	bauxite	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	Al, Al_2O_3		4
361			クロム鉄鉱	chromite	$FeO \cdot Cr_2O_3$	鉄鋼、化学、 耐火物	800	15
37	06220112	橄欖岩	橄欖岩	olivine	$(Mg, Fe)_2SiO_4$	特殊鑄物砂	5000	1
3911			シリマナイト	silimanite				
3912			カイヤナイト	kyanite	$Al_2O_3 + 2SiO_2$	陶磁器、 耐火煉瓦	250	40
3913			アンダリュサイト	andalusite				
			閃晶石	spinel	$MgO \cdot Al_2O_3$	耐火物	20	40

表 1 - 6 05 - 4 陶磁器原料となる鉱物・鉱石

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
41	0621019601	長石	長石	feldspar	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	セラミクス、 陶磁器、ガラス	1000	12
44	06210197	陶石	陶石	pottery stone	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	陶磁器	240	7
451			珪灰石	wollastonite	$CaSiO_2$	ロックウール、 高周波絶縁材		50
46			リシウム鉱	petalite	$Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$	窯業原料、 フランク管 コンデンサ、電池	5	30
47	06210198	カオリン	カオリン	kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	陶磁器、 製紙コーティング、 ガラス繊維	1000	13

表 1 - 6 05 - 5 肥料原料となる鉱物・鉱石

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
51			磷鉱石	phosphate rock	$\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_5$	肥料、 無機薬品	1500	10
52			蛇紋岩	serpentite	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	建材、肥料、 鉄鋼	6000	
53			チリ硝石	caliche	NaNO_3	肥料、ガラス釉薬、 化学薬品	37	
54			硝石	nitrate				
55			カリ鉱	potash mineral	K_2O	肥料、火薬、 写真薬品、染料	1000	

表 1 - 7 05 - 6 物理的特性を利用する鉱物

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
601	0629099301	石綿	石綿	Asbestos	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	石綿製品	300	10
602	0629099302	滑石	滑石	Talc	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	製紙填料、合成 樹脂、塗料、ゴム	500	8
603			雲母	Mica	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	電気絶縁用	2	1000
604	0629099203	珩藻土	珩藻土	Diatomite		濾過、建材、 耐火・保温、農業	250	20
605	0629099202	ベント ナイト	ベントナイト	Bentonite		鑄物砂、 建築用粘結剤、 ペレット材	500	11
606	0629099204	絹雲母	絹雲母	Sericite		顔料、 ゴム添加剤、 溶接、 電磁ノールド材	12	150
6071			水晶	Quartz	SiO_2	光学、IC 封止材、 発振子	2	500
608			方解石	Calcite	CaCO_3	光学材料		500
611			電気石	tourmaline				

6121			蛭石	vermiculite	$MgO \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$	軽量材、 耐熱材、 保温・防音材	40	100
6131			真珠石	Perlite	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot (Na_2O, K_2O)$	保温・保冷、 洗剤、断熱材、 壁材加工品	80	100
614			軽石	Pumice		軽量骨材、 ブロック	500	
6151			ポゾラン	Pozzuolan				
	0629099205	沸石	沸石	Zeolite	$(Ca, Na_2, K_2) Al_2 Si_7 O_{18} \cdot 6H_2O$	畜産、園芸、 水処理、土木、 農業キャリア	90	25
			蛭石クレー	pyrophyllite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	製紙填料、 触媒担体、 農業、ガラス繊維	350	30
			アタパルジヤイト	Attapulgit	$Si_6O_2 \cdot 0Mg_3(OH)_2(OH)_4 \cdot 4H_2O$	吸着剤、 石油精製材、 食品添加剤 石油精製、 化粧品、洗剤	0.8	
			クリストバライト	cristobalite	SiO_2	水ガラス、 軽量骨材、 吸着剤		

表 1 - 8 05 - 7 研削・研磨及び工芸用鉱物

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
71			柘榴石	garnet	3(FeO,CaO).Al ₂ O ₃ .3SiO ₂	宝飾、研磨	8	20
72			鋼玉	corundum	Al ₂ O ₃	研磨	80	100
73			エメリー	emery				
74			トリポリ	tripoli				
75			ダイヤモンド	diamond	C	宝飾、研磨	0.013	1000000
76			めのう	agate				
77			琥珀	amber				
			磨き砂	cleanser	SiO ₂ (Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	研磨、クレンザー	40	40

表 1 - 9 05 - 8 粘土鉱物

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
81			粘土	clay	Al ₂ O ₃ .SiO ₂ .H ₂ O	セメント、 土管、瓦	0.3	2
82	0629099201		酸性白土	acid clay		吸着剤、 石油精製材、 食品添加剤	90	15
83			緑泥石	clorite				

表 1 - 10 05 - 9 その他の非金属鉱物および岩石

商品コード 05-	産連表 コード	産連表 項目	資源名	英語	主成分	用途	国内需要 規模 kt	価格規模 円/kg
911	06290991	重晶石	重晶石	barite	BaSO ₄	塗料、製紙、 電子素子、 樹脂安定剤	100	8
912			氷晶石	cryolite	3NaF.AIF	アルミ製錬	800	150
93			硼砂	borax	H ₃ BO ₃	ガラス、陶磁器、 電子部品	90	120
94			曹達	soda	NaCO ₃ .nH ₂ O	ガラス、洗剤、 薬品	1000	40
951			岩塩	rock salt				
952			天日塩	solar salt				
953			かん水		含沃素塩水	塩化ビニル、 ゴム、 ハロゲン電球	8	

2.1.4. インベントリーの対象となる金属鉱物資源

標準商品分類で、中分類04が金属鉱物である。資源名は標準商品分類では「鉄鉱石」ではなく「鉄鉱」のように記載されているため、ここではそれを採用した。

分類では、銅、鉛、亜鉛を含む鉱物を「銅・鉛・亜鉛鉱」のように記載してあるが、

組成がその鉱山に依存して大きく異なり一般化して扱うことが困難であること、

製品から遡及して資源に及んだ場合に「銅・鉛・亜鉛」のような複合形態が求められるのではなく、そこから必要なものだけを取り出して用いること

の理由から、資源名としては、主たる金属にあわせた鉱石名を用いるのが好ましいと判断した。(なお、この部分については、アロケーション問題とも係る部分であり、議論の残る部分である。)

また、標準商品分類では、わが国の生産において他鉱石に含まれたり随伴し他金属の製錬プロセスから抽出される金属に関しては鉱物名が与えられていない。これも、上記と同様の理由で、金属元素に対応する鉱石が存在するとして鉱石名を与えた。この部分は表中で*印をつけて区別してある。

代表的鉱物は地質学的もしくは化学的名称である。鉱石はこのような金属含有鉱物が脈石と呼ばれる通常の鉱石の中に混在した状態で存在している。この掘り出されたそのままのものを「粗鉱」と呼び、多くは採掘の後に、「選鉱」と呼ばれるプロセスを経て、金属分を多く含む「精鉱」と脈石の多い「尾鉱」に分けられる。この選鉱はエネルギー投入や溶剤などの物質投入のあるひとつのサブプロセスとして扱うべきものであり、「精鉱」は中間産物であり、資源として対象となるものは、「粗鉱」である。

なお、この表でも、非金属鉱物の際の表と同様に、主な用途および国内需要と価格を表記している。また、この表の行の順番は、国内需要×価格の大きい順であり、上方のものほど社会・経済的に占める位置が大きいものであり、インベントリーとしての欠落チェックの重要度を反映していると考えても良い。

さらに、この表には発見年が付記されている。新しいものほど新しい用途で使用されている可能性をよくチェックして、インベントリーからの欠落を極力避けるべきである。

表 1 - 1 1 金属鉱物資源

金属	資源名	代表的鉱物	主な用途	国内需要 t/y	価格 ¥/g	発見 年
Fe	鉄鉱	赤鉄鉱 Fe_2O_3 、 磁鉄鉱 Fe_3O_4	構造材料	80,000,000	0.03	古代
Au	金鉱	自然金、 黄銅鉱随伴	電子部品、めっき	370	1000	古代
Al	ボーキサイト	ボーキサイト $Al(OH)_3 \cdot nH_2O$	軽金属	1,800,000	0.2	1825
Cu	銅鉱	黄銅鉱 $CuFeS_2$	電気材料、合金	1,500,000	0.22	古代
Ni	ニッケル鉱	針ニッケル鉱 NiS 、 ガーニエライト (珪酸ニッケル鉱)	電池、合金、 リードフレーム	211,000	1.3	1751
Pd	白金属鉱	自然白金	触媒、水素透過材	70	2500	1803
Mo	モリブデン鉱	輝水鉛鉱 MoS_2 、 黄鉛鉱 $PbMoO_4$	潤滑材、触媒、合金	26,000	6	1782
Pt	白金属鉱	自然白金	触媒、理化学用品	60	2000	1748
Li	リチウム鉱	リシア雲母 $KLi_2Si_4AlO_{10}(OH)_2$	電池	10,000	10	1817
Zn	亜鉛鉱	閃亜鉛鉱 ZnS (鉛随伴)	めっき、合金	650,000	0.13	中世
Ag	銀鉱	輝銀鉱 Ag_2S 、自然銀、 閃亜鉛鉱随伴、 方鉛鉱随伴	感光材料、薬品	3,500	18	古代
Nb	ニオブ鉱	コロンバイト $(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$	合金、コンデンサ	4,800	9	1801
Si	シリコン鉱*	珪石、珪砂、石英	半導体、化学工業、 鉄鋼	200,000	0.2	1824
W	タングステン鉱	灰重石 $CaWO_4$ 、 鉄マンガン重石 $(FeMn)WO_4$	フィラメント、工具	6,500	5	1783
Ti	チタン鉱	イルメナイト $FeTiO_3$ 、 ルチル TiO_2	生体合金、航空機、 酸化物、触媒	20,000	1.4	1791
Ta	タンタル鉱	コロンバイト $(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$	合金、コンデンサー、 太陽電池	320	80	1801
Pb	鉛鉱	方鉛鉱 PbS (亜鉛随伴)	蓄電池、はんだ	250,000	0.08	古代
Rh	白金属鉱	自然白金	熱電対	2	8700	1803
Ce	希土類金属鉱	モナザイト	磁性材、着色剤	5,000	3	1839
Ga	ガリウム鉱*	亜鉛鉱随伴	半導体、光ファイバー	116	70	1875
Mn	マンガン鉱	軟マンガン鉱 MnO_2 、 菱マンガン鉱 $MnCO_3$	乾電池、合金	66,000	0.1	1774
Nd	希土類金属鉱	モナザイト	磁性体	1,645	4	1885

Mg	マグネシウム鉱	ドロマイト CaCO ₃ , MgCO ₃ 、 マグネサイトMgCO ₃	軽合金	30,000	0.2	1808
Be	ベリリウム鉱	緑柱石 Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈	特殊ガラス、 IC 用合金、コネクタ	50	100	1797
Co	コバルト鉱	砒コバルト鉱 (CoFe)AsS	触媒、合金、電池、 磁性材料	1,100	4	1735
Zr	ジルコニウム鉱	ジルコンZrSiO ₄	耐火物、 リードフレーム	600	7	1789
As	砒素鉱	硫砒鉄鉱 FeAsS、鶏冠石AsS、 雄黄As ₂ S ₃	半導体、殺虫剤	52	80	中世
Ca	石灰岩	石灰岩CaCO ₃	化学工業原料	285	13	1808
In	インジウム鉱*	閃亜鉛鉱随伴、 方鉛鉱随伴	液晶電極、太陽電池	85	40	1863
Y	希土類金属鉱	モナズ石 (Ce,La,Y,Th)PO ₄	蛍光体、センサー、 電池	370	8.5	1794
Cr	クロム鉱	クロム鉄鉱FeCr ₂ O ₄	合金、めっき、 コネクタ	2,000	1.5	1798
Ge	ゲルマニウム鉱*	亜鉛鉱随伴	光ファイバー、 太陽電池、PET 合成	30	100	1886
V	バナジウム鉱		二次電池	5,000	0.5	1830
U	ウラン鉱	閃ウラン鉱UO ₂ 、 燐灰ウラン鉱 Ca(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ nH ₂ O	原子燃料	1,000	2	1789
Sr	ストロンチウム鉱*	天青石SrSO ₄ 、 ストロンチアンSrCO ₃	顔料	67	20	1808
La	希土類金属鉱	モナザイト	コンデンサ、発熱体	650	2	1839
Bi	蒼鉛鉱	輝蒼鉛鉱Bi ₂ S ₂ 、 閃亜鉛鉱随伴、方鉛鉱 随伴	低融合金、光学	550	2	中世
Sm	希土類金属鉱		磁性材料	200	5	1880
Eu	希土類金属鉱		蛍光体	15	60	1901
Cd	カドミウム鉱*	閃亜鉛鉱随伴	電池	2,200	0.25	1817
Te	テルル鉱*	金鉱随伴、銀鉱随伴、 銅鉱随伴	光ディスク	50	10	1783
Cs	セシウム鉱*	リシア雲母随伴	真空管	42	10	1860
Sn	錫鉱	錫石SnO ₂ 、 黄錫鉱Cu ₂ FeSnS ₂ 、 錫砂	はんだ、めっき	650	0.6	古代
Se	セレン鉱*	銅鉱随伴	整流器、複写機、 ガラス	600	0.5	1818
Sb	アンチモン鉱	輝安鉱 SbS	活字合金	800	0.16	中世

Re	レニウム鉱*			1	100	1925
Hf	ハフニウム鉱*	ジルコン随伴	高効率トランジスタ、 原子炉制御棒	2	20	1923
Hg	水銀鉱	辰砂 HgS	理化学機械、 電気機器、照明	25	1	古代
Os	白金属鉱	自然白金	万年筆		2900	1804
Ir	白金属鉱	自然白金			1750	1804
Ru	白金属鉱		太陽電池、万年筆		550	1844
Tb	希土類金属鉱		蛍光体、光磁気メモリ		80	1843
Er	希土類金属鉱				20	1843
Gd	希土類金属鉱	ガドリウム石	光学ガラス、 X線増感剤		18	1880
Dy	希土類金属鉱		光磁気メモリ、磁石		12	1886
Yb	希土類金属鉱	ゼノタイム			10	1879
Sc	希土類金属鉱		メタルハライドランプ		4	1879
Pr	希土類金属鉱		着色剤		3	1885
Th	トリウム鉱	モナザイト	耐熱合金			1829
Rb	ルビジウム鉱*	リシア雲母随伴	ブラウン管			1861
Tl						1861
Ho	希土類金属鉱	ゼノタイム、ガドリウム石				1879
Tm	希土類金属鉱	ゼノタイム、ガドリウム石				1879
Po						1898
Ra	ラジウム鉱*		医療用			1898
Ac						1899
Lu						1907
Pa						1917

2.1.5. インベントリーの単位

インベントリー分析で列挙するには、項目の抽出とともに、評価量の単位を明確にしなければならない。

多くの一般の製品の場合の評価量は、製品の機能化された単位（台など）が用いられ、その構成素材の場合には、素材全体の重量（質量）が用いられることが多い。しかし、鉱物資源などの場合は、資源そのものの総量よりもその中に含有されている有価物の量が経済的価値を決めることになり、単位もそれにあわせて設定する必要がある。特に、金属鉱物では、表1-11の「代表的鉱物」に見るように、同一の金属鉱石ながら成分や組成も大きく異なるものが一括して取り扱われる。また同じ成分であっても脈石との比率などは鉱山によっても大きく異なっている。

このように、金属鉱石では、「粗鉱」の量ではなく、「粗鉱中に含まれている目的金属成分の重量」を評価量として用いるべきである。これは、経済行為の評価量とも一致している。

他方で、非金属鉱物の場合は、組成的変動よりも、結晶構造やその分散度合いなど素材全体でのありかたが同一であることが重要である。この場合は、取り出された資源の微細な内部での存在様式は問題ではなく、資源そのものの全体重量が問題となる。ゆえに、非金属鉱物・鉱石では、鉱物そのものの重量を評価量とするのが妥当である。

このように、評価量として鉱物の種類によりそれぞれ「鉱物そのもの」および「目的金属成分」の「重量」を評価量として用いるが、「重量」の単位も商取引習慣などで一定していない場合が多い。基本的には kg、t などのメートル法を用いるべきであり、そのための換算表を示しておく。

表 1 - 1 2 重量の換算表

単位	メートル法	説明
ポンド(lb)	453.6g	ヤード・ポンド法の単位
オンス(oz)	28.35g	1/16 lb 。貴金属でしばしば用いられる
トロイオンス(TOZ)	31.1035g	金、白金でよく用いられる。
ショートトン	907.18kg	主に米国、カナダ、南アフリカで資源などの重量をあらわす時に使われる。2000lb。(米トン)
ロング・トン	1016kg	イギリスで用いられる。2240lb。(英トン)
メトリック・トン	1000kg	メートル法。(仏トン)
カラット	200mg	ダイヤモンド等宝石の単位
フラスコ	34.5kg	水銀

2.2 「鉱物資源使用」のストレス因子カテゴリー

2.2.1 鉱物資源使用の二つのストレスカテゴリー

「鉱物資源使用」カテゴリーが持続可能性に及ぼす影響には、

a) 枯渇性資源としての鉱物資源の消耗そのものと、

b) 鉱物資源を採掘することによる環境ストレスをさす場合の二つの側面がある。

資源枯渇性は、本報告の主題とするところであるが、資源が消費されることにより、資源自体が文字どおり枯渇したり、資源を得るためのエネルギーなどの投入が膨大になり資源を得ることが困難になるなど、次世代においてその資源を用いた生産基盤が失われるという直接的な影響である。

いまひとつの影響は、資源の採掘に伴う環境ストレスである。これは、資源が単独に存在

しておらず他の多様な資源の中に混在して存在することに起因する。すなわち、ある特定の資源を得るためには、目的資源以外の資源(広い意味の資源)に手を加えなければならない。特に、きわめて微量にしか含まれていない物質を抽出していかねばならない鉱物資源にとっては、直接的な量よりも、この関連する資源量の方がはるかに大量になる。この部分を、インベントリー分析の段階で資源採掘プロセスのインベントリー項目として取り上げることも可能であるが、これらの関連資源の移動や変更は経済外の行為である場合が多く、他のインベントリー項目とはなじみにくいという問題もある。

これらの二つは密接にかかわってはいるが、基本的には別種の問題である。鉱物資源使用の環境影響をみるとときには、この二つの側面があることを注意しておかねばならない。

2.2.2. 「鉱物資源使用」に伴う資源獲得の持続性の損失

「鉱物資源使用」に伴う資源獲得の持続性の損失とはいわゆる「資源の枯渇」と呼ばれるものである。

「資源の枯渇」とは、その資源が全くなくなることではない。持続性の観点から基本的に

- a) 将来の世代がその資源を得る機会が著しく減少すること
- b) その資源を獲得するために大量の投入が必要になり資源の獲得が困難になること
- c) その資源に依存した生産活動が困難になること

を意味している。具体的には、対象となる資源の獲得をめぐる

- i) 資源の価格の著しい高騰
- ii) 資源獲得のための環境破壊の著しい増大
が起き、
- iii) その資源を基礎とすることによる経済的メリットが失われてしまうこと
に至る。

地球規模ではないが、地域規模の資源枯渇をわれわれは体験している。次表は1998年時点でのわが国の鉱山の埋蔵量である。埋蔵鉱の品位が可採粗鉱の品位にきわめて接近し、経済的メリットが失われつつあることがわかる。

金属鉱物名	調査鉱山数	埋蔵鉱量	埋蔵鉱品位	可採粗鉱量 (採掘可能な粗鉱量)	可採粗鉱の品位	実質埋蔵量※
金鉱	7	235万吨	33.5グラム/t	170万吨	43.5グラム/t	74トン
銀鉱	7	349万吨	112.5グラム/t	279万吨	84.3グラム/t	2353トン
銅鉱	3	148万吨	0.4%	168万吨	0.3%	5113トン

鉛・亜鉛鉱	4	2442万トン	鉛:0.8% 亜鉛:6.1%	1919万トン	鉛:0.6% 亜鉛:4.8%	鉛:11万9千トン 亜鉛:91万トン
鉄鉱	5	31万5千トン	47.4%	22万6千トン	42.3%	9万6千トン
砂鉄	4	4万6千トン	1.4%	2万6千トン	2.3%	585トン
金属マンガン鉱	9	65万9千トン	16.6%	44万2千トン	15.3%	6万8千トン
クロム鉄鉱	4	14万5千トン	32.9%	17万トン	19.9%	3万4千トン
タングステン鉱	4	23万3千トン	1.61%	22万7千トン	1.32%	3千トン

次の表は、わが国の有力鉱山の開鉱年と閉山年である。かつては黄金の国と呼ばれ、鎖国政策の江戸時代も世界有数の銀輸出国であったわが国も、現在では、豊羽および若干の金鉱山以外のほとんどの鉱山が閉山に追い込まれており、なかには神岡のように実験施設に転用された鉱山もある。この段階にいたると、これら金属鉱業に対する持続可能性は絶たれる寸前であり、この段階にいたる以前での持続可能性の評価として枯渇性を表現できなければならない。

鉱山名	地域	鉱石種類	開鉱年	閉山年
鴻ノ舞鉱山	北海道	(Au)	1915	1973
豊羽鉱山	北海道	(Au,Ag,Cu,Pb,Zn)	1907	操業中
夕張炭坑	北海道	(Coal)		1990
尾太(おっふ)鉱山	青森県	(Pb,Zn)		1978
花岡鉱山	秋田県	(Au,Ag,Cu,Zn,Pb)		1994
小坂鉱山	秋田県	(Ag,Cu,Zn,Pb,Fe)		1990
尾去沢鉱山	秋田県	(Cu)	708	1978
阿仁鉱山	秋田県	(Cu)	1302	1970
釜石鉱山	岩手県	(Fe)		1993
岩倉炭坑	宮城県	(Coal)		2000
大谷(おおや)鉱山	宮城県	(Au)	1905	1971
鹿折(ししおり)鉱山	宮城県	(Au,Ag)	1898	1942
細倉鉱山	宮城県	(Pb,Zn)	900	1997
栃原金山	茨城県	(Au)		休止中
半田銀山	福島県	(Ag)	1598	1950
高玉金山	福島県	(Au)	1573	1976
足尾銅山	栃木県	(Cu)	1610	1973
大仁金山	静岡県	(Au,Ag)	1600	1973
伊豆湯ヶ島金山	静岡県	(Au,Ag)		一部操業中
縄地金山	静岡県	(Au,Ag)		1960年代
清越鉱山	静岡県	(Au,Ag)		1987
土肥金山	静岡県	(Au,Ag)	1370	1965
伊豆天城鉱山	静岡県	(Au,Ag)		廃鉱年不明
佐渡金山	新潟県	(Au,Ag)	1601	1988
赤谷鉱山	新潟県	(Fe,Zn)	1800年代	石灰石のみ
神岡鉱山	岐阜県	(Ag,Zn,Pb,Fe)	720	2001
尾小屋鉱山	石川県	(Cu,Pb,Zn)	1682	1962
中竜鉱山	福井県	(Zn)	1250	1987
紀州鉱山	三重県	(Cu)		1987
河守鉱山	京都府	(Cu)	1916頃	1973
鐘打鉱山	京都府	(Sn)	1910頃	1982
新大谷鉱山	京都府	(Mn)		1983

大谷(おおたに)鉱山	京都府	(W)		1983
多田銀山	兵庫県	(Ag,Cu,Pb,Zn)	戦国時代	1973
明延鉱山	兵庫県	(Ag,Sn,Cu)	飛鳥時代	1987
生野銀山	兵庫県	(Ag,Cu)	平安時代	1973
大身谷鉱山	兵庫県	(Au,Ag)		1985
坂越大泊鉱山	兵庫県	(Au)	1974	1984
旭日鉱山	兵庫県	(Au)	1911	1920
棚原(やなはら)鉱山	岡山県	(Fe)		廃鉱年不明
別子銅山	愛媛県	(Cu)	1690	1973
石見銀山	島根県	(Ag)	1309	1945
貝島炭坑	福岡県	(Coal)	1885	1976
三池炭坑	福岡/熊本県	(Coal)	1889	1997
鯛生(たいお)金山	大分/福岡県	(Au)	1890 頃	1970
尾平(おびら)鉱山	大分県	(Fe)		戦後
串木野金山	鹿児島県	(Au,Ag)	江戸時代	操業中
菱刈金山	鹿児島県	(Au,Ag)	1975	操業中

2.2.3. 「鉱物資源使用」に伴う周辺環境の持続性の損失

「鉱物資源使用」カテゴリーは、枯渇性資源としての鉱物資源の消耗そのものと、鉱物資源を採掘することによる環境ストレスをさす場合の二つの側面があるが、後者についても、

地球環境から得られる鉱物そのものの量

だけでなく、鉱物資源の採取に伴って人間の手によって変化を与えられる

「関与物質総量」

がある。

関与物質総量 TMR は評価関数となるべき因子として、(Schmidt-Bleek ら)によって「エコ・リユクサック」として物質利用に係る環境ストレス因子の有力な表現として提案され、材料集中度 (MIPS: material input per service) としてアメリカ環境省の「環境適合設計ガイドライン」にも“製品システムの寿命延長”等と並んで重要視されている TMR (Total Materials Requirement) を取り上げた。この TMR は資源生産性 (Resource Productivity) や環境効率 (Eco-efficiency) を考える上でも注目されており、既に World Resource Institute のコーディネートで日本、アメリカ、ドイツ、オランダの国内外分の TMR の算定・比較や EU における経年調査 など政策レベルでの指標として用いようとする具体的な動きも進んでいる。一方で、その算定根拠などが不明確なものも多く、LCA 等の繊細で加算的な手法に取り入れるにはデータとしての客観性に欠けるものとみなされていた。

TMR の中でも重要な部分を担う、金属の、さらにその主要部分である鉱石採掘に伴う土石・岩石分については、現在操業している多数かつ広域な鉱山からの調査に基づく TMR 鉱石分 (以降 ore-TMR と記す) の算定され、加えて、そのデータに基づき、鉱石品位、さらには地殻存在度という文献等からも比較的得やすいデータを用いて概算されている。

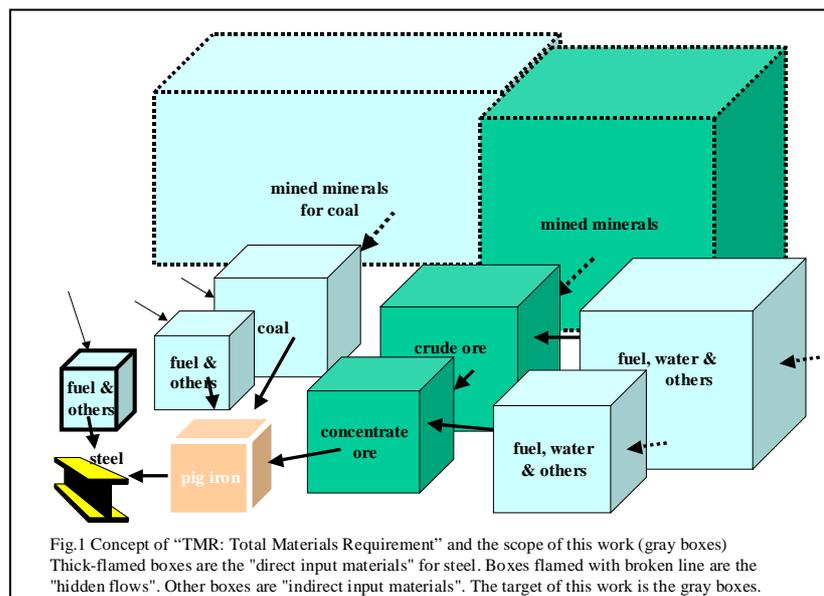
関与物質総量は、World resource institute の国際共同報告書「Resource Flows」の中的確に定義されており、それに基づけば(1)式の記述となる。

$$\begin{aligned}
 (\text{関与物質総量 TMR}) = & (\text{直接投入物質}) \\
 & + (\text{間接投入物質}) \\
 & + (\text{隠れた物質フロー量}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで直接投入物質および間接投入物質は、人間の経済的行為として、それぞれ直接、間接に投入された物質の量である。これらはまとめて経済フロー（commodity materials flow）とも呼ばれ、様々な経済統計資料などで入手可能な量である。隠れた物質フロー量（HMF: hidden materials flow）は関与物質総量に不可欠の概念である。HMFとは直接、間接の経済行為に伴う物質以外にその行為に伴って起きる物質の移動や攪乱の量であり、採掘に伴う岩石や土石の移動、森林の伐採、変更された水系、さらには土地の再生や景観の保護のために必要な物質の総量も含まれる。国際共同報告書「Resource Flow」7)では、HMFを付随的フロー（ancillary flow）と攪乱的フロー（disturbed flow）の二つの面からとらえている。付随的フローとは鉱石採掘に伴う岩石や土石のように経済行為に付随して不可避免に行為の対象となり自然の状態から動かされた物質の量であり、攪乱的フローとは、工場や埋立地さらには輸送などインフラストラクチャーの整備に伴い変更を加えられ、自然な状態と異なって存在する水や土壌などの天然資源の量である。攪乱的フローのような環境との境界近くにある現象に対しては、LCA等と同様に、システム境界の範囲の適正さに任意性を生じるため、攪乱的フローについては未だ多くの議論がある。そのため現在の関与物質総量の議論は付随的フローまでを対象として論じられているケースが殆どである。

Fig.1に鉄鋼を例にとった関与物質総量の概念を示した。図左下の鉄鋼材料への直接投入物質は、太枠の直方体として描かれている銑鉄と燃料その他の関連素材である。それらの物質（特に銑鉄）を得るためには鉄鉱石やコークス等に代表される間接投入物質が必要であり、そのそれぞれもプロセスに必要な燃料や添加・調整成分などの間接投入を誘起し、鉄鉱石も精鉱として品位を上げる選

鉱プロセスの原材料として採掘したままの粗鉱石を必要とする。さらに、粗鉱石は地中に存在するため、鉱石の部分まで穴を掘り採掘する坑内掘り、もしくは、上層にある土石を取り除いて鉱石を取り出す露天掘りにより地中から取り出される。このとき生じるズリや剥土（overburden）および鉱物を結合し



ている脈石 (gangue mineral) 掘削により湧き出た坑内水などは、経済的な取引の対象とされないため経済統計などの中に明示的に現れないが、直接地球環境と係る物質そのものの量でもある。この部分が、先述した「隠れた物質フロー」である。このフローは鉄鉱石だけでなく、石炭にも存在し、厳密には全ての間接投入の地球環境側との境界に必ず位置するものであるが、図では石炭と鉄鉱石に係る部分のみ、破線の直方体で示してある。これら図中に示された全ての直方体の総和が関与物質総量であり、その中で点線の直方体で表された「隠れた物質フロー」分は、背後に背負っているものの意味から「エコ・リュックサック」とも呼ばれ、我が国においては「材料の背後霊」として例えられることもある性格の数値である。

計算された TMR を表に示した。

Table 1. ore-TMR and its global amount of each metals

	Ore-TMR		fundamental data				ore-TMR		fundamental data		
	ore-TMR ^{a)} [t/metal-t]	annual ore-TMR in the world [Mt/y]	world annual production ^{b)} [t/y]	crude ore quality ^{c)} [%]	concentration in the crust ^{d)} [ppm]		ore-TMR ^{a)} [t/metal-t]	annual ore-TMR in the world [Mt/y]	world annual production ^{b)} [t/y]	crude ore quality ^{c)} [%]	concentration in the crust ^{d)} [ppm]
Au	1,800,000.0	4,401.0	2,445.00	0.00011 ^{b)}	0.003	Li	1,400.0	18.2	13,000.00	0.14	13
Cu	300.0	3,870.0	12,900,000.00	0.84 ^{b)}	75	Tb	<i>30,000.0</i>	17.2	574.00 ^{g)}		0.6
Fe	5.1	2,912.1	571,000,000.00	25 ^{b)}	70700	Gd	<i>10,000.0</i>	16.4	1,640.00 ^{g)}		3.3
Ag	160,000.0	2,864.0	160,000.00	0.0013 ^{b)}	0.08	Ru	800,000.0	16.0	19.99 ^{b)}	0.00025 ^{b)}	0.001
U	<i>11,000.0</i>	1007.8	45,807.00 ^{g)}		0.91	Si	4.5	15.3	3,400,000.00	44	267700
Bi	<i>150,000.0</i>	491.4	17,900.00		0.06	Sn	43.0	8.6	200,000.00	4.65 ^{b)}	2.5
Zn	43.0	344.0	8,000,000.00	5.5 ^{b)}	80	Zr	540.0	7.7	14,250.00	0.37	100
Pd	1,800,000.0	318.6	177.00	0.00011 ^{b)}	0.001	Ir	2,400,000.0	7.6	3.18 ^{b)}	0.000084 ^{b)}	0.0001
Pb	95.0	283.1	2,980,000.00	1.33 ^{b)}	8.0	Y	<i>2,700.0</i>	6.5	2,400.00		20
Pt	1,400,000.0	249.2	178.00	0.00014 ^{b)}	0.005	Ta	12,000.0	6.2	513.00	0.017 ^{b)}	1.0
Ni	200.0	246.0	1,230,000.00	1.02 ^{b)}	105	Dy	<i>9,000.0</i>	5.9	656.00 ^{g)}		3.7
Al	<i>10.0</i>	239.0	23,900,000.00		84100	Mg	20.0	5.7	284,000.00	10	32000
Mo	2,000.0	224.0	112,000.00	0.1 ^{b)}	1.0	W	170.0	5.4	31,500.00	1.2 ^{b)}	1
Sr	<i>500.0</i>	149.3	304,000.00		260	Lu	<i>45,000.0</i>	5.2	114.80 ^{g)}		0.3
Cr	8.9	121.4	13,700,000.00	23 ^{b)}	185	Br	<i>9,40.0</i>	4.9	520.00		0.31
Ce	<i>2,000.0</i>	70.3	35,014.00 ^{g)}		33	Hg	2,000.0	3.6	1,800.00	0.1	0.08
V	1,500.0	63.0	42,000.00	0.14	230	Er	<i>12,000.0</i>	3.0	246.00 ^{g)}		2.2
Rh	2,600,000.0	62.3	23.96 ^{b)}	0.000078 ^{b)}	0.001	Tm	<i>40,000.0</i>	2.7	65.60 ^{g)}		0.32
Mn	8.0	59.6	7,450,000.00	25 ^{b)}	1400	Hb	<i>25,000.0</i>	2.5	98.40 ^{g)}		0.78
La	<i>2,000.0</i>	58.5	18,860.0 ^{g)}		16	Eu	<i>20,000.0</i>	1.6	82.00 ^{g)}		1.1
In	200,000.0	44.0	220.00	0.001	0.05	Se	1,000.0	1.4	1,400.00	0.2 ^{b)}	0.05
Nd	<i>3,000.0</i>	25.1	13,940.00 ^{g)}		16	Hf	<i>10,000.0</i>	1.2	123.50		3.0
Cd	2,000.0	38.6	19,300.00	0.1	0.1	As	29.0	1.2	40,000.00	6.9	1.8
Te	<i>270,000.0</i>	33.8	125.00		0.02	Re	20,000.0	0.9	43.00	0.01	0.00005
Nb	1,400.0	33.0	23,600.00	0.14	11	Be	2,400.0	0.9	356.00	0.08	1.5
Co	870.0	28.1	32,300.00	0.23 ^{b)}	29	Ga	<i>3,000.0</i>	0.7	210.00		18.0
Pr	<i>8,000.0</i>	15.1	3,362.00 ^{g)}		3.9	Ge	8,300.0	0.5	58.00	0.024	1.6
Sb	200.0	24.2	121,000.00	0.99 ^{b)}	0.2	Th	<i>9,000.0</i>	0.4	45.00		3.5
Yb	<i>12,000.0</i>	23.6	1,958.00 ^{g)}		2.2	Ti	6.3	0.3	51,000.00	31	5400
Sm	<i>9,000.0</i>	22.1	2,460.00 ^{g)}		3.5	Os	2,000,000.0	0.1	0.06 ^{b)}	0.0001 ^{b)}	0.001
B	<i>4,300.0</i>	18.4	4,270.00		10						

これらは、直接的な量であるが、資源の枯渇性については単純に取り扱うことは出来ない。資源はその時代の技術などの要因によって変化するものであり固定的にみることはできないからである。

2.3. 鉱物資源の持続性（枯渇性）に関する議論の整理

2.3.1. 基本用語

鉱物資源量や埋蔵量はその定義が実はまちまちであり、データベースによっても異なっている。また、異なる分野で類似した概念が同じ用語で用いられたり、同一概念に別の用語を用いるなど、混乱しているものが多い。

（1）類似概念を同一の用語で用いているもの

資源： 地質学的資源、鉱業的資源、環境学的資源

鉱床： 地質学的鉱床、鉱業的鉱床

資源についてはすでに触れたが、鉱床についても同様であり、ある成分が濃化された客観的実在物としての地質学的鉱床と、その地質学的鉱床から採掘する経済的効果が期待できる鉱業的鉱床がある。先に見たように、わが国においては地質学的鉱床は存在しているが、鉱業的鉱床は枯渇に瀕している。

（2）同一概念を異分野で別の用語を用いているもの

資源耐用年数と可採年数：

両者とも基本的には、同じように、埋蔵量を年間消費量で割ったものであるが、耐用年数は鉱物資源に対して、可採年数は石炭、石油、天然ガスなどのエネルギー資源に対して用いられる。そもそも耐用年数とは経済学的概念で、ある対象物とその機能を発揮できる期間をさしており、鉱物資源は有価物を生み出す資産としての捉え方から「耐用年数」が用いられ、エネルギー資源はむしろフロー的な要素で採掘というプロセスの持続性に注目した表現になっているものであろう。

埋蔵鉱量と可採鉱量：

可採鉱量は JIS で用いられている表現であり、ほぼ埋蔵鉱量と同一概念である。

（3）さまざまな類似概念が混在しているもの

特に、埋蔵量に関しては経済的側面からも多様な表現がとられているが、US Bureau of Mines の定義が最も権威があり、一般的に用いても良いと考えられる。

ここでは、埋蔵量（埋蔵鉱量）は、まず「埋蔵鉱量ベース」というものを定義しそのもとで以下のように定義されている。

埋蔵鉱量（reserve）：埋蔵鉱量ベースの中で、経済的生産を決めた時点で経済的に採掘ま

たは生産されうる部分を言う。

このもととなっている埋蔵量ベースは、

埋蔵量ベース(reserve base): 既知鉱物資源量の中で、現在の採掘および操業に関係した、はっきり限定した物理的・化学的最低基準を満たす部分をいう。この基準には、品位、鉱質、厚さ、深度などについてのものが含まれる。

となっており、「埋蔵量ベース」とは技術的に採掘可能な部分、「埋蔵鉱量」とはその中で経済的採算性のある部分、と理解してよい。

このほかにも、准埋蔵鉱量、有用鉱床、経済限界下鉱床などの概念があるが、それらの簡単な関係を式で表すと、次のようになる。

$$\text{有用鉱床} = \text{埋蔵鉱量} + \text{准埋蔵鉱量}$$

准埋蔵鉱量: 経済的採算性の境界にあるもの

$$\begin{aligned} \text{既知鉱床} &= \text{既知鉱物資源量} = \text{鉱物資源量 (resources)} \\ &= \text{埋蔵鉱量} + \text{准埋蔵鉱量} + \text{経済限界下鉱物資源量} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{経済限界下鉱床} &= \text{経済限界下鉱物資源量} \\ &: \text{経済的使用可能性限界 (経済限界) 以下にある鉱床} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{総鉱物資源量 (total mineral resources)} \\ &= \text{鉱物資源量 (resources)} + \text{潜在鉱物資源量} \\ &\text{未発見鉱床, 潜在鉱物資源量: いまだ発見できていない鉱床} \end{aligned}$$

このUS Bureau of Minesの定義を広島大学の立見教授が翻訳したものを以下に記載する。
なお、Webサイトhttp://home.hiroshima-u.ac.jp/er/Rres_R_K1.htmlでも閲覧できる。

**鉱物資源の資源量・埋蔵鉱量分類の基本方針*1
アメリカ合州国鉱山局および同地質調査所**

*1 US Bureau of Mines and US Geological Survey (1980) Principles of a resource/reserve classification for minerals. US Geol. Surv., Circ. 831, 5p.

まえがき

これまで長い間、地質技師・採鉱技師など鉱物資源の分野に携わって来た人々は、鉱物資源またはその量(mineral resources) **註1**(ここではエネルギー資源をも含むこととする)を記載し分類するのに、多種の用語を使ってきた。そのうちのものは、広く使われ、また容認されてもきたが、しかしそれらは、正確に同じ意味で常に使われてきたわけではない。

アメリカ合州国鉱山局と同地質調査所では、すべての鉱物資源の量と質についての情報を、異なった観点からのものあるいは異なった目的のためのものを含めてすべて集めている。1976年には、これら両機関の職員よりなる1チームが一つの共通した分類・命名方法を案出して、アメリカ合州国地質調査所報告 1450-A「アメリカ合州国鉱山局および同地質調査所による鉱物資源分類体系の基本方針」として発表した。この鉱物資源(量)分類体系を使っているうちに、これをより実際的にし、かつまた長期的企画にもより役立つようにするためには、何がしかの変更を加えることが必要となった。そこで、アメリカ合州国地質調査所と同鉱山局との代表者は、前報告 1450-Aを改訂するために協力することとなった。

長期的な公的かつ商業的な企画は、新鉱床発見の見込み、現在では稼行できない鉱床に対しての経済的な鉱業諸技術の開発、およびどの鉱物資源が今すぐ利用できるものなのかについての知識に基づくものでなければならない。従って鉱物資源量は、新しい地質学的知見、科学・技術の進歩、経済・政治条件の変遷などを考慮して、絶えず再評価され続けられなければならないものである。この種の企画の要求に最も良く対応するためには、既知鉱物資源またはその量は、次の二つの観点から分類されなければならない。

(1) 自然の状態での鉱床(material in place) **註2**の純粋に地質学的ないし物理・化学的な諸性質一例えば、品位、鉱質、鉱量、厚さ、深度など。

(2) 与えられた時点で与えられた経済的条件下での、採掘および販売に必要な費用に基づく利益性の解析。

前者は鉱物資源またはその量についての重要な客観的・科学的情報よりなり、また相対的に言って不変の基礎であって、後者のより変わり易い経済的な設計は、その上を立てて建てられ得るものである。

すべての鉱物質原料に対して一般的に適用されるように計画されたこの分類体系改訂版は、**第1・2表**(略)に示されている。その内容と使い方は本文中に記してある。この鉱物およびエネルギー資源ならびにその量の分類は、必然的に人為的なものである。なぜならば、この決め方の規準となるものは、自然的な境い目とは必ずしも常に一致しているわけではないからである。この分類体系は、鉱物およびエネルギー燃料資源またはそれらの量の現状について、国家あるいは特定の分野に対して報告するのに使われる。

鉱物資源量・埋蔵鉱量の定義

資源(resource)に対する辞書の定義「何か貯えられているもの、あるいは必要があればすぐ使えるもの」は、その存在が単に推定されるものまでを含めて、現在または考え得る将来に価値のあるすべての原料の鉱物およびエネルギー資源に対して適用されて来た。

鉱物資源(resource)

地殻中またはその表面に産する天然産固態・液態またはガス態物質の濃集体で、現在または将来そこから有用物質が経済的に採り出し得るような形と量とで存在しているものをいう。

原鉱物資源量(original resource)

ある鉱物資源の生産前に存在していた量 **註3**。

既知鉱物資源またはその量(identified resources)

その位置・品位・鉱質および鉱量が具体的な地質学的証拠によって知られているか、あるいは見積られている鉱物資源またはその量。これには経済的(economic)・准経済的(marginally economic)・経済限界下(subeconomic) **註4**の3種が含まれる。地質学的確からしさの程度の違いによって、これらの経済性による区分は、さらに精測(measured)・概測(indicated)・予測(inferred)に細分される*2。

*2 (原註)個々の鉱床や地域についての鉱石や化石燃料の経済的評価に当り産業界で普通に使われている確定(proved)・推定(probable)・予想(possible)の3語は、精測・概測・予測の3語にだいたい置き換えられて来ている。前者はこの分類体系の中では使わない。(なお初版(1978)によれば、これら確定・推定・予想の3種は、精測+概測の合計(確認)に当るとされている。)

確認(demonstrated): 精測と概測の両者を合して示す語。

精測(measured) その鉱量は、露頭・トレンチ・坑道・試錐孔などであきらかにされた数値から計算されている。品位および(あるいは)鉱質は、詳しい試料採取の結果から計算される。調査・試料採取・測定が行われた地点がごく密に分布し、かつその地質学的性質も良く判っているため、その大きさ・形・深度・鉱物含有量も詳しく知られている。

概測(indicated) 鉱量・品位および(あるいは)鉱質が精測鉱物資源(量)に対して用いられたものと同質の情報から計算されているが、調査・試料採取・測定の地点の分布がより粗であったり、あるいはそ

これらの分布があまり適切でなかったりするもの。その確からしさの程度は、精測鉱物資源(量)の場合よりは低いが、各観測点間の連続性を考えるのには十分な大きさを持っている。

予測(inferred): その見積りは、精測および(あるいは)概測鉱物資源(量)の場合を超えたある想定された連続性によっているが、それに対する地質学的証拠は存在している。予測鉱物資源またはその量は、試料や測定に基礎づけられていることもあるし、またそうでない場合もある。

埋蔵鉱量ベース(reserve base)

既知鉱物資源量の中で、現在の採掘および生産の操業に関係した、はっきり限定された物理的・化学的最低規準を満す部分をいう。この規準には、品位・鉱質・厚さ・深度などについてのものが含まれる。これは、埋蔵鉱量見積りの基となる自然の状態での確認資源量(in-place demonstrated resource)である。またこれは、既知鉱物資源量の中で、既開発の技術や現在の経済状況を基に考えるよりもずっと長い先の期間には経済的に役立つようになるであろうとの、筋の通った可能性の考えられる部分までを含むとしてもよい。この埋蔵鉱量ベースには、現在経済的な鉱物資源量(すなわち埋蔵鉱量、reserve)・経済限界すれすれの鉱物資源量(すなわち准埋蔵鉱量、marginal reserve)および一部の現在では経済限界下の鉱物資源量(すなわち経済限界下鉱物資源量、subeconomic resources)が含まれている。「地質学的な埋蔵鉱量(geological reserve)」という語が、一部の人々によってこの埋蔵鉱量ベース区分に対して一般的に適用されて来たが、これはまた、予測埋蔵鉱量

予測埋蔵鉱量ベース(inferred reserve base)

予測埋蔵鉱量見積りの基となる既知鉱物資源の自然の状態での量(in-place part of an identified resource)をいう。これに関する各種の量的見積りは、主にある鉱床の地質学的性質に関する知識に基づいており、試料採取や各種測定が行われていないこともある。この見積りは、地質学的証拠によっている埋蔵鉱量ベースの場合を超えて、仮定された連続性によっている。

埋蔵鉱量(reserve)

埋蔵鉱量ベースの中で、それを決めた時点で経済的に採掘または生産され得る部分をいう。埋蔵鉱量という語は、鉱業諸施設がそこにあつて稼働できることには関係しない。これは利用可能な鉱床だけを含むのだから、「抽出可能埋蔵鉱量(extractable reserves)」とか「回収可能埋蔵鉱量(recoverable reserves)」とかのような語は余分で、この分類体系には含まれていない。

准埋蔵鉱量(marginal reserves)

埋蔵鉱量ベースの中で、それを決めた時点で経済的生産が可能かどうかの境目にあるものをいう。この基本的特徴は経済上の不確かさにある。この中には、経済的・技術的要因に考え得る変化が起れば生産可能となり得るような種類の鉱物資源量が含まれる。

経済的(economic)

この語は、ある限られた量の資本投下を仮定した場合の下で利益の上る採掘ないし生産が確かめられているか、理論的に論証されているか、あるいは適正な確からしさで仮定されるかした場合を意味する。

経済限界下鉱物資源量[ママ](subeconomic resources)

既知鉱物資源量の一部で、埋蔵鉱量や准埋蔵鉱量に対する経済的規準に合わないものをいう。

潜在鉱物資源(量)(undiscovered resources)

その存在がただ論理的に推定されているだけで、既知鉱物資源とは別の鉱床からなる。これは、品位や位置に関しては、経済的・准経済的・経済限界下の各種鉱床に対して仮定される。またこれは、その地質学的確からしさの程度の違いによって、次の二つに区分される。

仮定鉱物資源(量)(hypothetical resources): 既知鉱床と同型式であり、また似通った地質環境にある同じ生産地域または地方に存在すると理論的に期待されるような未発見の鉱物資源またはその量をいう。探査の結果その存在が確かめられ、また鉱質・品位・鉱量について十分な情報が明らかにされれば、これは既知鉱物資源(量)に再分類される。

純理的鉱物資源(量)(speculative resources): 潜在鉱物資源の中で、まだ鉱徴は知られていないが地質学的には好条件のところ、既知型式の鉱床として産出するかも知れないもの、または、その経済的可能性がまだ認められていない型の鉱床として産出するかも知れないもの、あるいはそれらの量をいう。探査の結果その存在が確かめられ、またその鉱質や鉱量および品位について十分な情報が明らかにされれば、これらは既知鉱物資源(量)に再分類される。

限定鉱物資源(量)・埋蔵鉱量(restricted resources/reserves)

鉱物資源(量)・埋蔵鉱量に関する区分のそれぞれの中で、その採掘が法律や規則によって制限されているもの、例えば、埋蔵鉱量としての諸条件のうち、法律・規則によってのみ採掘が制限されていて、他のすべての条件には合っているもの。

鉱物資源およびその量の分類に関する指針

1. すべての天然産金属、非金属および化石燃料の中で十分な濃集度を持つものは、この分類のいずれかのまたは複数の区分に分類される。
2. 埋蔵鉱量という語が、概測、准あるいは予測などの条件を限る形容詞無しにそれだけで使われている場合には、これは、[第1表](#)に示されているように、確認—経済的の区分と同義と考えてよい。
3. 鉱物資源またはその量の各区分の定義は、特定の地質学的または技術的特徴に伴う習慣的用法と一致するように、ある特定の鉱種に対して少し変更してもよい。特定鉱種に対してのこの種の修正された定義は、将来出版される政府刊行物中に

れかつ定義されていなければならない。

5. 鉱物資源量・埋蔵鉱量の見積りが行われる地理学的地域は、はっきり限定されていなければならない。

6. すべての見積りには、日付と作者名とが示されていなければならない。

7. 埋蔵鉱量ベースというのは、物理的・化学的規準で限定されたより広範囲の鉱物資源量区分である。このような区分を考えた見積りの主な目的は、長期の公的かつ商業的な計画を立てるのに手助けとするためである。多くの鉱種にとっては、見積りを行う人それぞれの具体的な目的に従って、どの与えられた鉱床・地域または国家に対しても異った品位・鉱量または他の適当な鉱物資源量要因を考慮することができよう。したがって、経済限界下の区分にまで続くようなより低い埋蔵鉱量ベースの境目は、これらの目的ごとに変わり得るものである。この意図は、鉱床 (in-place material) の質をはっきりさせようとするためのものであって、これのどの部分も、採鉱計画や最終的に採用される経済上の仮定によっては、経済的となり得るものである。これらの規準が決められさえすれば、最初の埋蔵鉱量ベースの見積り値は、次の3種に区分されるだろう: すなわち、埋蔵鉱量・埋蔵鉱量および残りの経済限界下鉱物資源量である。連邦政府の有用物質評価の目的のためには、この埋蔵鉱量ベースの規準が各鉱種ごとに立てられるだろう。

8. 潜在鉱物資源およびその量は、仮定および純理的鉱物資源(量)の定義に従って二つに区分される。あるいは、産出の相対的確度を示す語で分けられてもよい。

9. 予測埋蔵鉱量と予測埋蔵鉱量ベースとは、埋蔵鉱量および埋蔵鉱量ベースからの論理的な延長部である。これらは、相対的に低い確度で測られた既知鉱物資源量である。埋蔵鉱量・埋蔵鉱量ベースからの延長ではなくて、むしろ地質学的な推論のみによって仮定された鉱物資源量は、潜在鉱物資源量として区分されなければならない。

10. 例え埋蔵鉱量として区分するには薄すぎる、低品位すぎる、または深すぎると経済的には判断されても、局所的にはある限られた量の鉱石が生産されることがあるかも知れない。生産施設が建てられてあったり、また局地的な環境条件によっては、他では利益の上げ得ないものまで生産を可能にするような場合には、上のようなこと生じる場面もある。この種の生産が行われるところでは、このような鉱床の量 (quantity of in-place material) も埋蔵鉱量ベースの中に含まれるだろう。しかしながら、局地的なこの種の鉱石の採算のとれる生産は、同様の厚さ・鉱質・深度を持つこの種の鉱石を他の地域でも埋蔵鉱量に区分する理論的根拠とはならない。

11. 埋蔵鉱量として区分される鉱物資源量は、その区分の行われた時点で経済的に生産可能と考えられるものでなければならない。逆に言えば、現在利益を上げて生産できないものを埋蔵鉱量に区分することはできない。しかしながら、現在の原価と価格の下での鉱物資源量区分に対する経済的規準に合わない鉱石を生産するために、採鉱計画が立てられ、土地が獲得され、鉱山諸施設の建てられるような場合もある。ある種の鉱石にとっては、詳しい技術的評価が欠けているだけの理由で、その経済的生産性が確かでないこともある。埋蔵鉱量という区分は、これら両者のような場合に適用される。仮にすべてのまたは一部の埋蔵鉱量によって経済的な生産が確かとなれば、これらは埋蔵鉱量に再分類される。

12. あまりにも低品位のものまたはその他の理由で、これまでに定義された各種鉱物資源量と同様の意味では潜在的な経済性があるとは考えられないものが、時にはあるかも知れないし、またその量の程度も見積られるかも知れない。しかし、これらは各種鉱物資源量の中には入らない。これまでの区分とは別の「その他の産出 (other occurrences)」が、**第1・2表**中に組み込まれてある。

13. **第1表**では、経済限界下鉱物資源量とその他の産出との間の境界は、鉱物資源量の定義から出て来る「現在または将来可能と思われる経済的生産の可能性 (current or potential feasibility of economic production)」の概念によって区切られている。この境界は明らかに不確かなものだが、品位・鉱質・厚さ・実収率 (percent extractable) あるいはその他の経済的可能性に関する要因についての項目で決められるものであろう。

14. 鉱物資源やエネルギー資源の諸鉱種は、例えば瀝青炭が褐炭とは区別されているように、異った特徴または用途を持っている場合には区別して量が測られなければならない。

15. 過去の累積生産量は、定義により鉱物資源量中には入らない。しかし、どれだけ生産されたかについての知識は、既採掘量および鉱床の残量の両者の点で、現在の鉱物資源量を考えるのに重要である。**第1表**中には、累積生産量も別枠で加えられている。現在のまたは将来の採掘によって大地中に残される分の量も、その経済的回収に合うような鉱物資源量区分の中に記録されるべきものである。

16. 埋蔵鉱量と鉱物資源量とを区分するのに当っては、ある種の鉱物は他種鉱物の同時産物または副産物となる点からその経済的意義の生じることがあることを知る必要がある。この種の関係は、脚註または付属文としてはっきり説明されていなければならない。

17. 経済的および地質学的条件以外に、法律、規則、環境ないし政治などに関する事情で、ある鉱床のすべてまたはその一部の利用が限定されたり禁止されたりすることがある。制限されることの判っている分の埋蔵鉱量や鉱物資源量は、これらに合った分類区分中に記録されなければならない。この制限される分の量と制限される理由も註記されていなければならない。

18. この分類体系には、通常報告される以上の区分あるいは資料入手可能な他の区分も含まれている。事情が許す場合には、これら諸区分が一緒に合わされたり、または削除されることもある。

19. 鉱物資源量見積りの基礎となった資料およびそれらが計算された方法は、文書化されかつ保存されなければならない。

訳注

(1) 日本語では、鉱物資源・鉱物資源量のように、資源そのものを表わす場合とその量を表わす場合とで、それぞれ違った語を使っているが、英語ではこれらはいずれも resource という1語で示されることが多い。この報告中でも、内容的には明らかに量を示す場合でありながら、amount (quantity) of resource のようにそれを明示した場合は少ない。またこれとは逆に、resource の説明文中にこれを deposit で受けて、明らかにものを示している例がしばしばある。この訳文中では、それぞれの場合の行文の文意に従って、そのどちらかで記してある。また、両者を併記した場合も多い。

なお、この報告中に mineral resource と記してあるところはごく少なく、ほとんどの場合に resource の1語で示されているが、訳文ではいずれも鉱物資源・鉱物資源量のように鉱物を加えておいた。

(2) この報告中には material という語がしばしば出て来る。そのほとんどの場合には、これを原料・材料などと訳すよりも、鉱床・鉱物質原料とした方が文意が通り易いと考えられるので、そうした場合が多い。ただしこの訳文では、鉱床という語を便宜的に広く解釈して、単に金属・非金属・化石燃料に対してのみならず、石材・砂利などの場合にもこの語を適用すると考える。

また in-place という語がしばしば出て来る。これはこの改訂版の一つの特徴となっている。その意は、鉱業的な量のみならず、それへの基礎となる地質学的な量でものを考えることの必要な場合のあることを考慮するようになったからであろう。ただし

このことは、すでにこの報告以外の分類方式案にも示されている(例えば、Zwartendyke,J.(ed.)(1975); Schanz,J.J.,Jr.(1980))。
(3)本文中の表現では、これが次の二つのいずれであるかは判定し難い。ただし、この報告全体の流れからすれば、(b)である可能性が大きいように思われる。

(a). 探査の結果、判った鉱床そのものの量(鉱床量)。

(b). (a)を基にして立てられた JIS の定義による埋蔵鉱量または可採粗鉱量に類するもの(後註(5)参照)。

(4) 鉱物資源量の経済的条件を示すこれら3種の語はいずれも、鉱物資源量区分の決定が行われた時点での経済的判断の結果を表わしたものである。ある一つの具体的鉱床について言えば、時期の違いによりこれが経済的になったり准経済的になったり、また場合によっては経済限界下になったりすることすら、十分に有り得ることである。換言すれば、これら3種の区分は、常に「この鉱物資源量区分の行われた時点では」の条件つきである。

なお、経済限界下と言っても、この分類体系の性格上、それぞれの時点で非経済的(non-economical)なものまでのすべてを含んで考えているわけではないと理解すべきであろう。

(5) この訳文では、「reserve」はすべて「埋蔵鉱量」と訳してある。

ところで、日本の鉱業界では、鉱量計算に関する JIS-M-1001 によって、「埋蔵鉱量とは、地殻中に現有する鉱床の質量をいう」と定義されている。この定義を文字通り解釈すれば、これは純粋に地質学的な鉱床そのものの量を示すようにもとれる(この訳文中では、この内容を表わすのに鉱床量という語を使っている)。しかし、実際の埋蔵鉱量計算に当っては、各鉱床ごとに考えられるその時々での技術的・経済条件に応じた可採粗鉱品位の下限値をまず定め、それを基に鉱画を設定し、これら鉱画内に存在する鉱床の質量を積算して、その値を得ている。従って、ここでいう鉱床量と JIS でいう埋蔵鉱量との間には違いがある。前者は地質学的な量で、後者は鉱業的な量である。

一方、英語の「reserve」の内容は、この報告書の reserve の本文説明に明らかなように、鉱床量のような純粋に地質学的な量ではなくて、明らかに何らかの鉱業的な意味を持った量である。しかし、これが JIS でいう「埋蔵鉱量」あるいは「可採粗鉱量」と内容的に完全に一致するものであるかどうかは、訳者には判定し難い。

以上の事情を承知の上で、ここでは先に述べたように「reserve」-「埋蔵鉱量」を対応させてある事を承知してほしい。』

第1表 鉱物資源量分類の大綱(埋蔵鉱量ベースおよび予測埋蔵鉱量ベースを除く)

Resources of (commodity name)(鉱種名) 鉱物資源量

[A part of reserves or any resource category may be restricted from extraction by laws or regulations (see text)]

[各種鉱物資源量区分の一部が、法律または規則によって採掘の制限されることがある(本文参照)]

Area 地域名: (mine, district, field, state, etc.) Unit 単位: (tons, barrels, etc.)

累積生産量 Cumulative production	既知鉱物資源量 Identified resources			潜在鉱物資源量 Undiscovered resources	
	確認 Demonstrated		予測 Inferred	確からしさの程度 Probability range	
	精測 Measured	概測 Indicated		仮定 Hypothetical	純理的 Speculative
経済的 Economic	埋蔵鉱量 Reserves		予測埋蔵鉱量 Inferred reserves		
准経済的 Marginally economic	准埋蔵鉱量 Marginal reserves		予測准埋蔵鉱量 Inferred marginal reserves		
経済限界下 Subeconomic	確認経済限界下鉱物資源量 Demonstrated subeconomic resources		予測経済限界下鉱物資源量 Inferred subeconomic resources		
その他の産出 other occurrences	非在来型および極低品位の鉱床 Includes nonconventional and low-grade materials				
other occurrences	Includes nonconventional and low-grade materials				

2.3.2. 枯渇性に対するさまざまなアプローチ

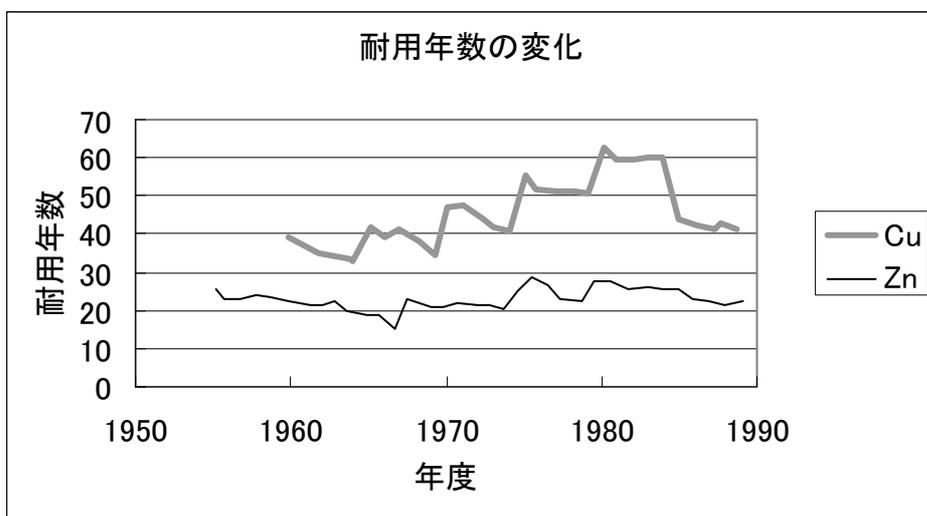
(1) 耐用年数

鉱物資源の耐用年数（すなわち、エネルギー資源の可採年数）は、

$$\text{耐用年数} = \frac{\text{資源の埋蔵量}}{\text{資源の年間消費量}}$$

として得られる値である。この数値は、あくまで上記の式で得られる数字であり、耐用年数が30年だからといって30年後に資源が枯渇することを意味しているものではない。

下図は、銅および亜鉛の耐用年数の推移である。単純に考えれば銅の場合1960年に40年の耐用年数であるから1990年には耐用年数10年になる直線となり、2000年には銅資源は枯渇することになるが、現実には2000年を超えた現在も銅資源は健在であり耐用年数もその過程において増加した時期さえある。これは、新たな鉱山が探索されるなど埋蔵量が生産にあわせて増加していくことによっている。亜鉛の場合は、耐用年数がほぼ20年から30年の間を推移しており、逆に耐用年数が20年を切らないように新たな鉱山の開発が行われているとも見ることができる。



このように、耐用年数は資源枯渇を直接表す数値ではない。しかし、耐用年数を20年代で維持しなければならないのか100年レベルで推移するのかの違いのように直接的ではないが資源の枯渇性の緊要度を反映した値としての側面は見逃せない。

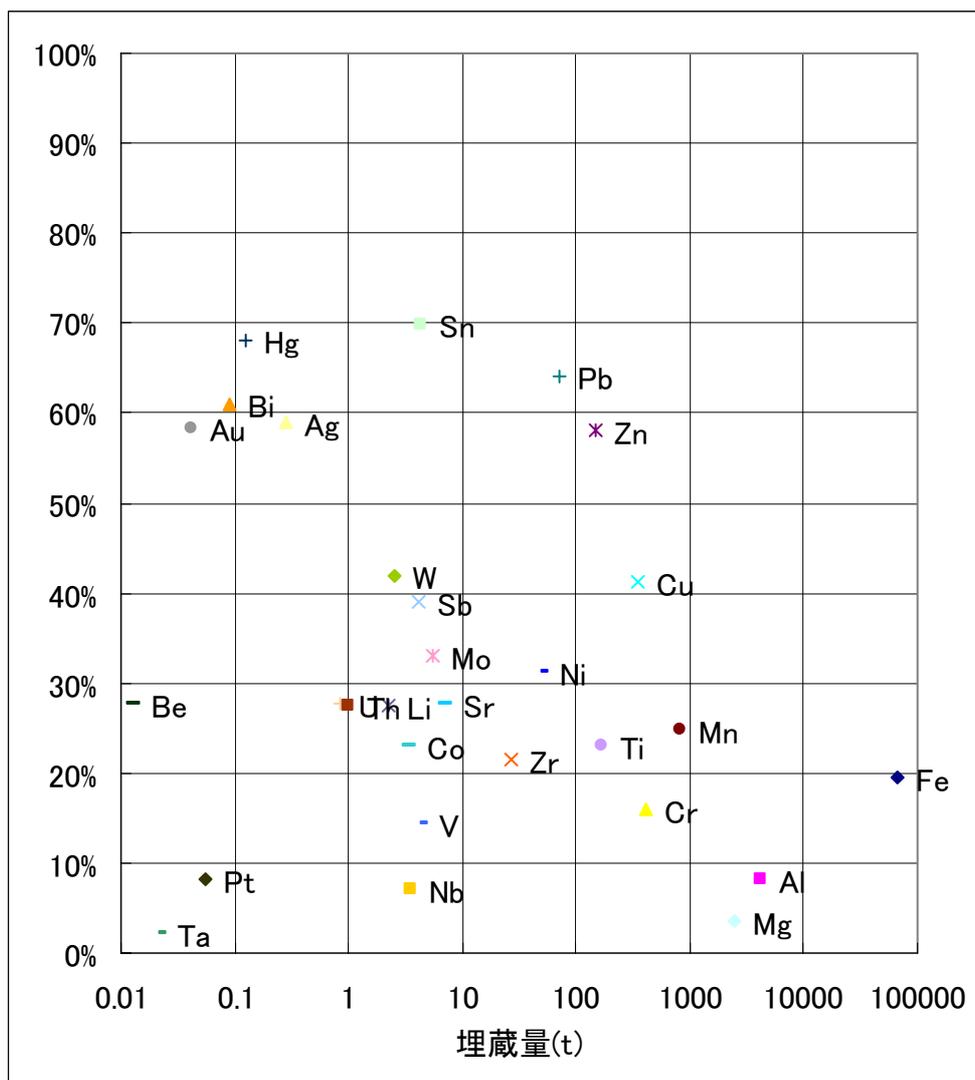
(2) 既採掘率

埋蔵量だけでなく、これまでの資源使用量と残存した埋蔵量を比較して資源の消費度を計ることもできる。すなわち、

$$\text{既採掘率} = \frac{\text{既採掘量}}{\text{埋蔵量} + \text{既採掘量}}$$

である。下図は、この採掘率を埋蔵量との関係で示したものであり、水銀、錫など 60～70%の既採掘率を示す資源もある。

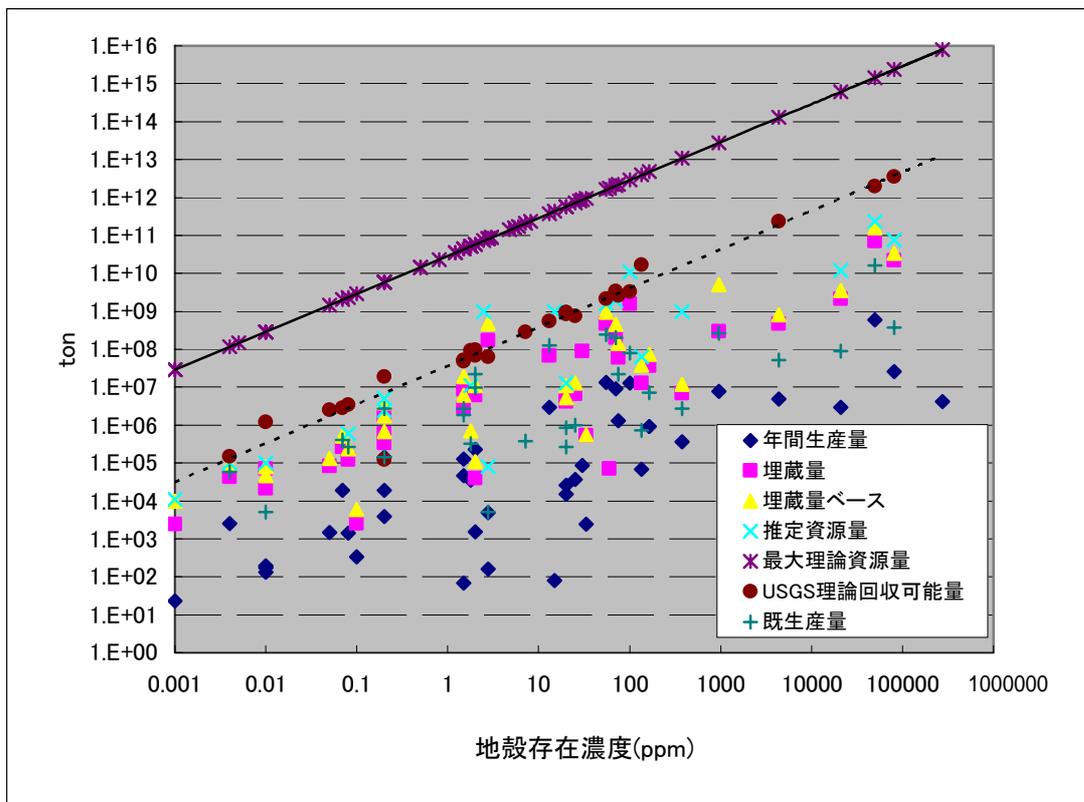
既採掘率には古くから記録の積み重ねが必要だが、多くの部分はデータのある近年の利用であり、その点では比較的客観的なデータが得られる。しかし時間とともに変化していく埋蔵量の問題は耐用年数の場合と同様であり、既採掘率が客観的な資源の消費率を表すものではない。



(3) 究極利用可能資源量

耐用年数が新たな資源の開発によって変化するのに対して、絶対の資源量を推算しそこに至る距離を知ることで資源の枯渇度を議論することもできる。下図は、各元素成分についてかつてクラーク数と呼ばれた地殻存在度 (ppm) に対して、埋蔵量や年間生産量、既生産 (採掘) 量などでプロットしたものである。図の上部に*マークとともに記した直線が各元素の地殻存在濃度をもとに利用可能資源量を算定した例である(高田明:「地球資源戦略ノート」白亜書房 1994年 44p) ここでは、地表の剥土作業および坑内掘りで可能な採掘深さを 300m であり、地殻厚さの 1/100 と設定し、 2.9×10^{16} トンを利用可能総資源として見積もり、それに地殻濃度をかけた $2.9 \times 10^{10} \times (\text{地殻濃度:ppm})$ を各資源の究極利用可能限界として算定したものである。

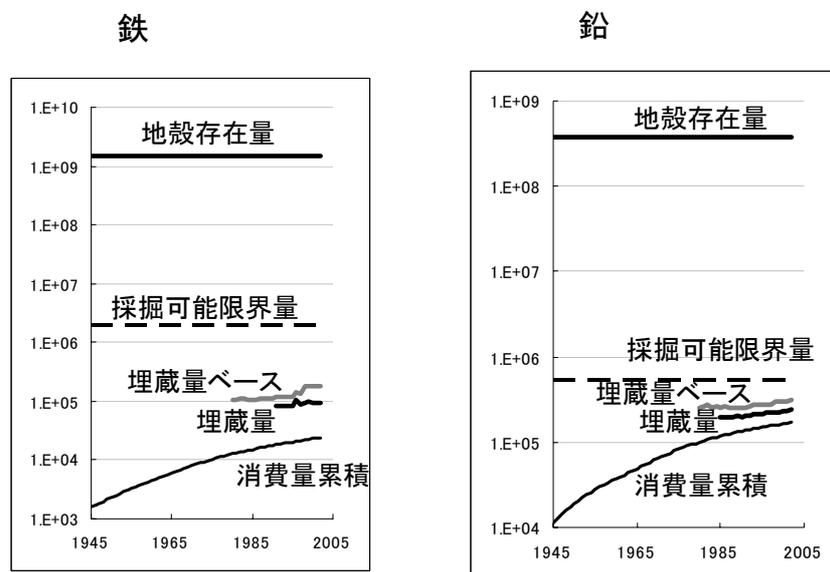
一方で ● のプロットはアメリカ鉱山局 USGS が地下 1000m までを対象に現在の価格で回収できるとして算定した「理論回収可能量」であり、ほぼ点線で示した $4 \times 10^7 \times (\text{地殻濃度:ppm})$ 上にプロットされる。推定資源量や埋蔵量ベースの上限もこのオーダーであり、われわれが資源として認識できるものは、地殻に存在している理論量 (究極利用可能限界) の 1% 台にも満たないことがわかる。



物質保存の法則から「鉱物資源はなくなる」との主張が時として行われるが、われわれが資源として扱えるものは地殻存在物質のうちで特殊に濃縮された 0.1%にも満たない存在であり、その資源を使用しそのまま廃棄することは、資源の対象とならない存在に元素を希釈してしまう行為である。

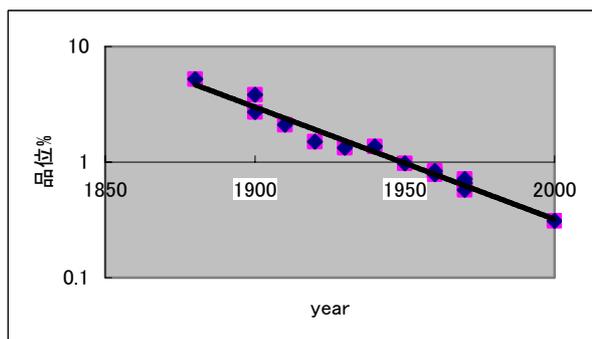
このように、われわれの利用している資源は地殻と海洋中に薄く分布している成分の中で限定的に濃縮された 1/1000 程度の比率の部分であり、地殻および海洋中の絶対量としての理論上限は無意味に近く、何らかの主観性のある決め方を導入して利用可能資源量を推算することが必要になる。ただし、USGS 理論回収可能量が埋蔵量ベース、埋蔵量などの上限的な関係を持ちかつ、地殻存在度に対して線形性の強い関係を示していることから、資源間の相対評価の際には地殻存在濃度を用いることは有効であろう。

また、下図は、究極利用可能限界(地殻存在量)、採掘可能限界(USGS 理論回収可能量)、埋蔵量ベース、埋蔵量、累積消費量(既採掘量)を、比較的枯渇性の小さい鉄と枯渇性の大きい鉛の両者に対して経年変化を見たものである。鉄の場合、採掘可能限界量と埋蔵量ベースもしくは埋蔵量との開きは大きく、さらに、それらと累積消費量の違いも大きい。鉛の場合はこの 4 者の開きは小さく、埋蔵量および埋蔵量ベースも累積消費の増大に圧迫されてあがっていかざるを得ない状況になっているのがわかる。



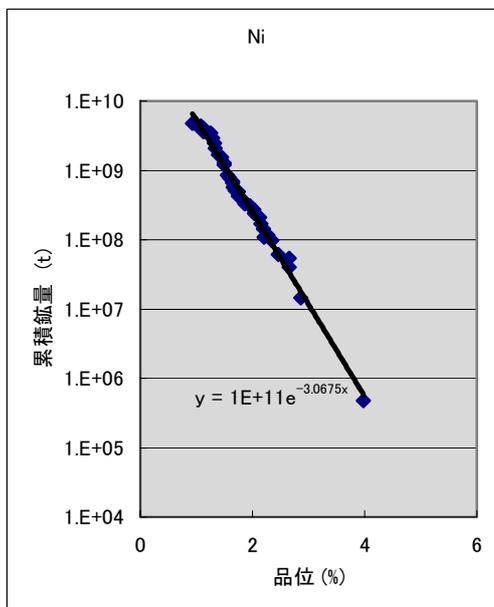
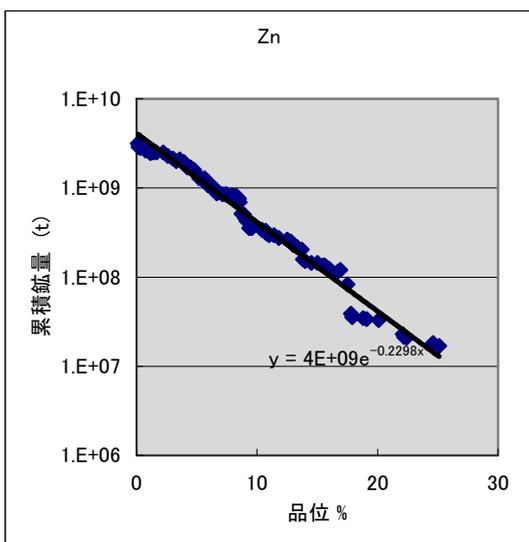
(4) 質の劣化としての考え方

資源の枯渇度を量の変化ではなく資源の質の変化として捕らえる考え方もある。図は、銅鉱石の品位の変化である。資源が枯渇していくに従い、容易に採掘できる品位の高い鉱脈は採掘しつくされ、品位の低い鉱脈からの採掘を余儀なくされる。ついには、経済性が確保できなくなり、枯渇に至るわけである。銅の場合は、この一世紀で鉱石品位は完全に一桁落ちてきている。



この議論を行う場合には、各鉱山の品位の経年変化などが必要であるため、これまでのデータの公開と蓄積が要求されすべての資源に対して議論していくことは難しい。

Shoji らは、現在の鉱山の採掘能力の分布から資源の枯渇度を議論している (T.Shoji:MMIJ/IMM Joint Symp.,Kyoto 1989) 下図は亜鉛鉱床およびニッケル鉱床の品位と高品位側から積算した累積鉱量の関係であり、片対数の関係が得られている。



そこで、これらを品位 $x\%$ のときの累積鉱量を $T(x)$ 、 $x\%$ のときの鉱量を $t(x)$ とすると、

$$\begin{aligned} T(x) &= \int_x^{\infty} t(x) dx \\ &= C \cdot \exp(-bx) \end{aligned}$$

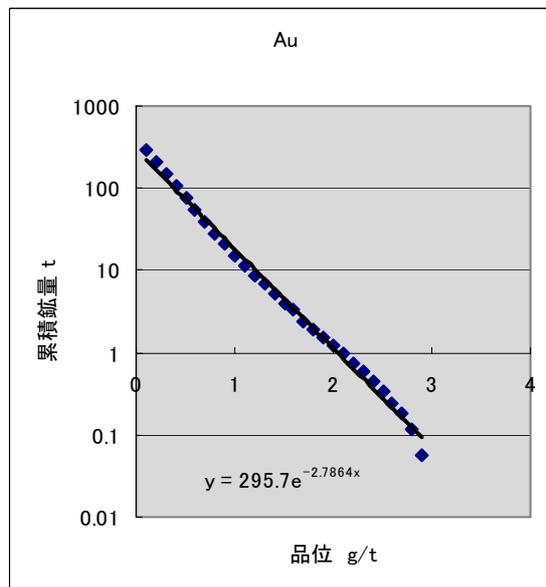
の関係として表される。なお、ここで C, b は鉱石による定数である。

これより、 $x\%$ の鉱量 $t(x)$ および、それに品位をかけた、品位 $x\%$ の鉱石を掘ることにより得られる金属量 $m(x)$ は、

$$\begin{aligned} t(x) &= \frac{dT(x)}{dx} \\ &= C \cdot b \cdot \exp(-bx) \\ m(x) &= x \cdot t(x) \\ &= C \cdot b \cdot x \cdot \exp(-bx) \end{aligned}$$

となり、この $m(x)$ の式は、 $x=1/b$ に極大値をもつ。極大値を持つということは、 $x=1/b$ の品位までは、品位の低い方へと移行しながらも対象とする鉱床を広げることで得られる金属量は増加するが、この極大値をもつ $x=1/b$ より低い品位では、品位を落としても得られる金属量は減少していくことを意味する。すなわちここで同一の経済条件下で同一量の金属を得ることが理論的にも不可能になる臨界品位が存在することが示される。亜鉛の場合の臨界品位は、4.3%、ニッケルの場合の臨界品位は、0.31%である。また、金に対しても下図のように同様のプロットが成立し、金の場合の臨界品位は $1/2.786=0.36\text{g/t}$ となる。

これらは、鉱床データなどの蓄積が必要であり、一般化するのは難しいであろうが、「枯渇」を科学的に論じる方法があることを示す上では重要な論点であると考えられる。



3 . 鉱物資源の持続性を議論するためのデータ

3 . 1 . 各種データの所在

資源の枯渇性に関する調査報告書は多数あるが、データを準拠しているベースは限られている。比較的信頼性のあるものとして用いられるデータベース群として以下のものがある。

1) 「Mineral Commodity Summaries」

Web Site ; <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>

発行者 ; U.S. Department of the Interior , U.S. Geological Survey

対象元素等 ; 90 元素・鉱物

発行間隔 ; 毎年。

Minerals Yearbook (毎年) 及び Mineral Industry Surveys (quarter 毎) も発行している。

有償 / 無償 ; 無償

特徴等

・最も信頼出来るデータベースであるが、中には埋蔵量データ無しもある。

2) 「Minerals Handbook 2000-2001」

Web Site ; <http://www.mining-journal.com/indexbooks.htm>

発行者 ; Mining Journal Books Ltd.

対象元素等 ; 52 元素・鉱物

発行間隔 ; 1 回 / 2 年

有償 / 無償 ; 有償

3) 「World Metal Statistics Yearbook」

Web Site ; <http://www.world-bureau.com/site.html>

発行者 ; World Bureau of Metal Statistics (WBMS)

対象元素等 ;

発行間隔 ;

有償 / 無償 ; 有償

4) 「Who owns who in Mining 2001」

Web Site ; <http://www.rmg.se>

発行者 ; Raw Materials Group Stockholm / Roskill Information Services. Ltd.

対象元素等 ; 22 元素・鉱物 (埋蔵量と世界生産量のデータは無い)

発行間隔 ; 2001 年号で絶版 ?

有償 / 無償 ; 有償

特徴等

- ・埋蔵量データは無く、世界主要生産者による寡占状況と資本関係を示す。会社別の生産量等。

5) 「Roskill Metals and Minerals Reports」

Web Site ; <http://www.roskill.com/>

発行者 ; Roskill Consulting Group

対象元素等 ; 62 元素・物質

発行間隔 ; 不定期

有償 / 無償 ; 有償

特徴等

- ・物質の性格上 reserves/resources の項目が無いものがあるが、Antimony, Tantalum についてもデータは無い。
- ・無償で章・節名等の目次までは把握可能である。

これらの中で埋蔵量に関するデータを Mineral Commodity Summaries を中心として次表にその記載状況を示した。

埋蔵量データを含むデータベース群

USGS		Roskill		Raw Materials Data	
Abrasives, Manufactured					
		Activated Carbon			
Aluminum					
Antimony					
Arsenic					
Asbestos					
Barite					
Bauxite and Alumina					
		Bentonite			
Beryllium					
Bismuth					
Boron					
Bromine					
Cadmium					
		Calcium; see 2 reports under written			
Cement					
Cesium					
Chromium					
Clays					
Cobalt					
Columbium(Niobium)					
Copper					
Diamond, Industrial					
Diatomite					
Feldspar					
Fluospar					
Gallium					

Garnet, Industrial				
Gemstones				
Germanium				
Gold				
Graphite, Natural				
Gypsum		Ground Calcium Carbonate		
(Hafnium)		Gypsum & Anhydrite		
Helium				
Ilmenite				
Indium				
Iodine				
Iron Ore				
Iron and Steel				
Iron and Steel Scrap				
Iron and Steel Slag				
		Kaolin		
Kyanite and Related Minerals				
Lead				
Lime				
Lithium				
Magnesium, Compounds & Metal				
Manganese				
Manufactured Abrasives				
Mercury				
Mica				
Molybdenum				
Nickel				
Niobium (See Columbium)				
Nitrogen (Fixed), Ammonia				
		Olivine		
Peat				
Perlite				
		Petroleum Coke		
Phosphate Rock				
Platinum-Group Metals				
Potash				
		Precipitated Calcium Carbonate		
Pumice and Pumicite				
Quartz Crystal, Industrial				
Rare Earths				
Rhenium				
Rubidium				
Rutile				
Salt				
Sand and Gravel, Construction				
Sand and Gravel, Industrial				
Scandium				
Selenium				
Silicon		including Ferrosilicon		
Silver				
Soda Ash				
Sodium Sulphate				
Stone, Crushed				
Stone, Dimension				
Strontium				
Sulfur				
Talc and Pyrophyllite				
Tantalum				
Tellurium				
Thallium				
Thorium				

Tin					
Titanium and Titanium Dioxide					
Tungsten					
				Uranium	
Vanadium					
Vermiculite					
		Wollastonite			
Yttrium					
		Zeolites			
Zinc					
Zirconium including Hafnium					

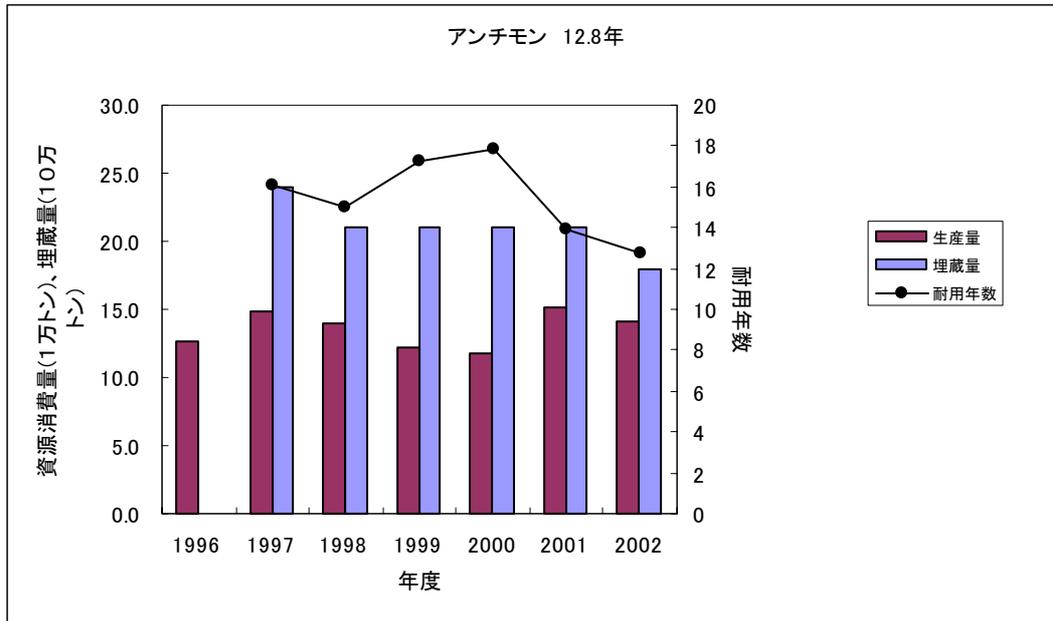
(注; =埋蔵量データ有り。 =データ無し。)

3.2. 統計データについて

以上の中から、最もよく利用され、透明性も高く信頼性のおける USGS の Mineral Commodity Summaries から収集したデータを整理しておく。産業統計という性格上、年間生産の変動はもちろん、埋蔵量なども年度によって変化しており、中には、統計対象国からの報告が部分的に欠落しているものや、各国における統計上の定義などの見直しで大幅に変化したものがあるため、単年度での表示をさけ、Mineral Commodity Summaries の Web サイトで読み取れるものはすべて示してある。

表は、各年度の生産量、埋蔵量、見直しなどがあつた年度での埋蔵量ベースを示しており、resources の項は文章中での資源量に対する一般的な記述のものを記載した。単位の多くは ton であるが、中には 100 万トン、1000 トンなどで記載したものもあり、表中に記載してある。グラフでは、各年度を横軸に、生産量、埋蔵量を左目盛に異なったスケールで棒グラフで示している。また、そこから単純に計算される耐用年数を右目盛の折れ線グラフで記してある。図の資源名の右横に記した年数は、2002 年度のデータから得られた資源の耐用年数である。

Sb アンチモン

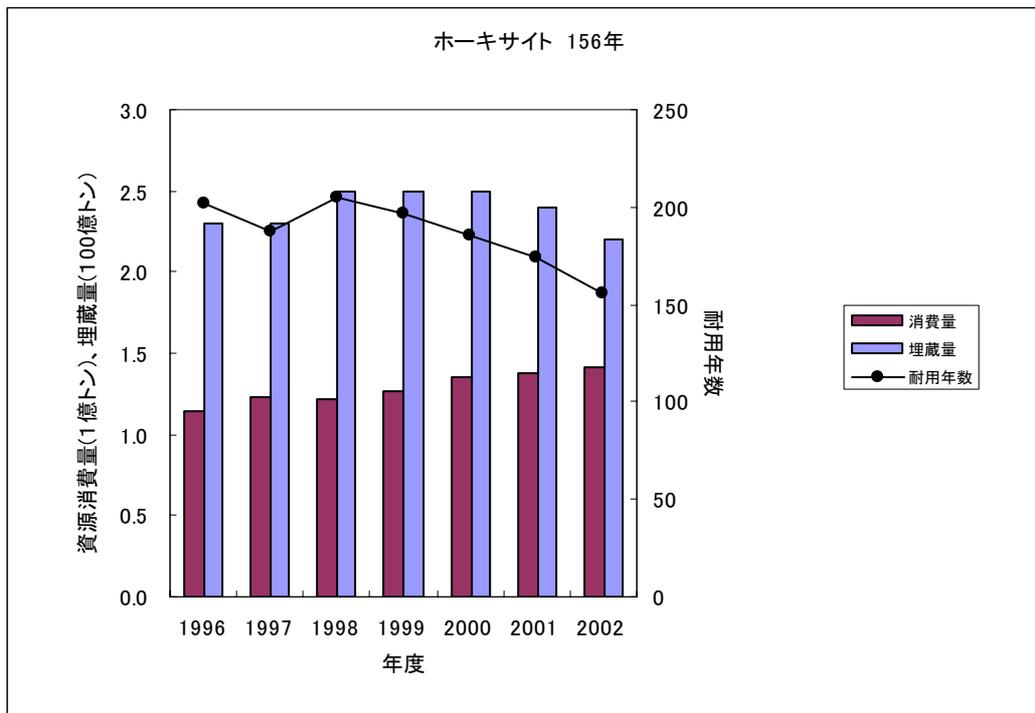


	Antimony			
Year	production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
1995	103,000			
1996	126,000	NA	NA	5,100,000
1997	149,000	2,400,000	3,600,000	
1998	140,000	2,100,000	3,200,000	
1999	122,000	2,100,000	3,200,000	
2000	118,000	2,100,000	3,200,000	
2001	151,000	2,100,000	3,200,000	
2002	141,000	1,800,000	3,900,000	

As 砷素

	Arsenic			
Year	Production (t)	Reserves	Reserve base	Resources (t)
1995	41,000		20-30 times	
1996	42,000			
1997	41,000			
1998	40,800			11,000,000
1999	38,800			11,000,000
2000	33,900			11,000,000
2001	35,500			
2002	35,000			

Al アルミニウム（ボーキサイト）

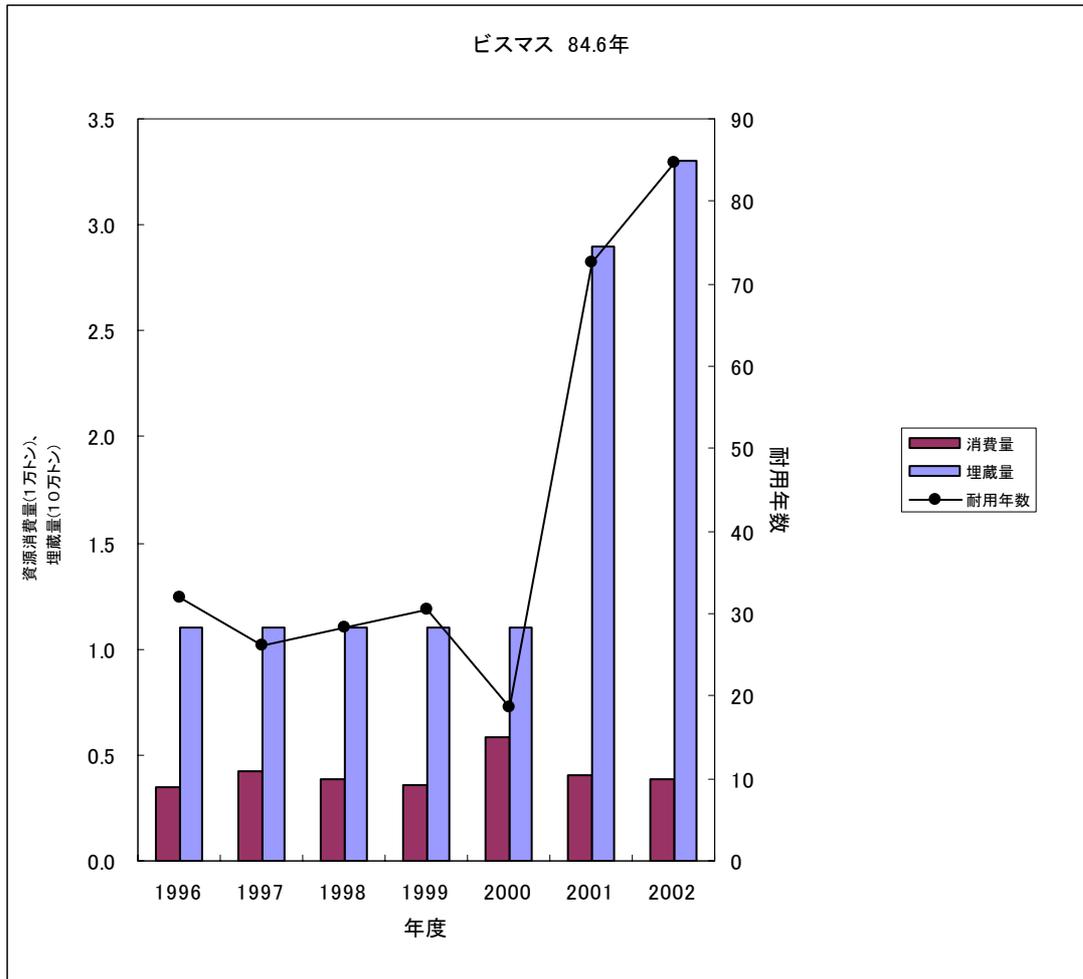


	Bauxite			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	109,000			
1996	114,000	23,000,000	28,000,000	55-75 billion
1997	123,000	23,000,000	28,000,000	
1998	122,000	25,000,000	34,000,000	
1999	127,000	25,000,000	34,000,000	
2000	135,000	25,000,000	35,000,000	
2001	138,000	24,000,000	34,000,000	
2002	141,000	22,000,000	33,000,000	

Be ベリリウム

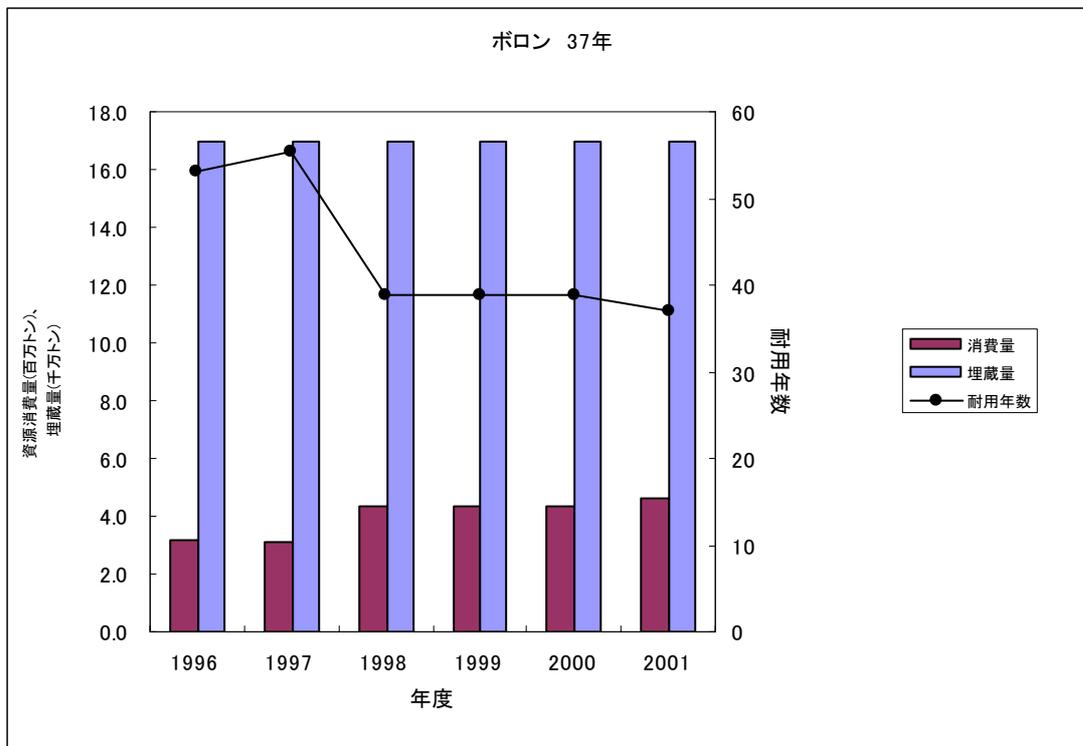
	Beryllium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year				
1995	327			
1996	336			
1997	331			
1998	344			
1999	301			
2000	280			80,000
2001	160			
2002	160			

Bi ビスマス



	Bismuth			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	3,040			
1996	3,440	110,000	250,000	
1997	4,210	110,000	260,000	
1998	3,880	110,000	260,000	
1999	3,620	110,000	260,000	
2000	5,880	110,000	260,000	
2001	4,000	290,000	690,000	
2002	3,900	330,000	680,000	

B ホウ素

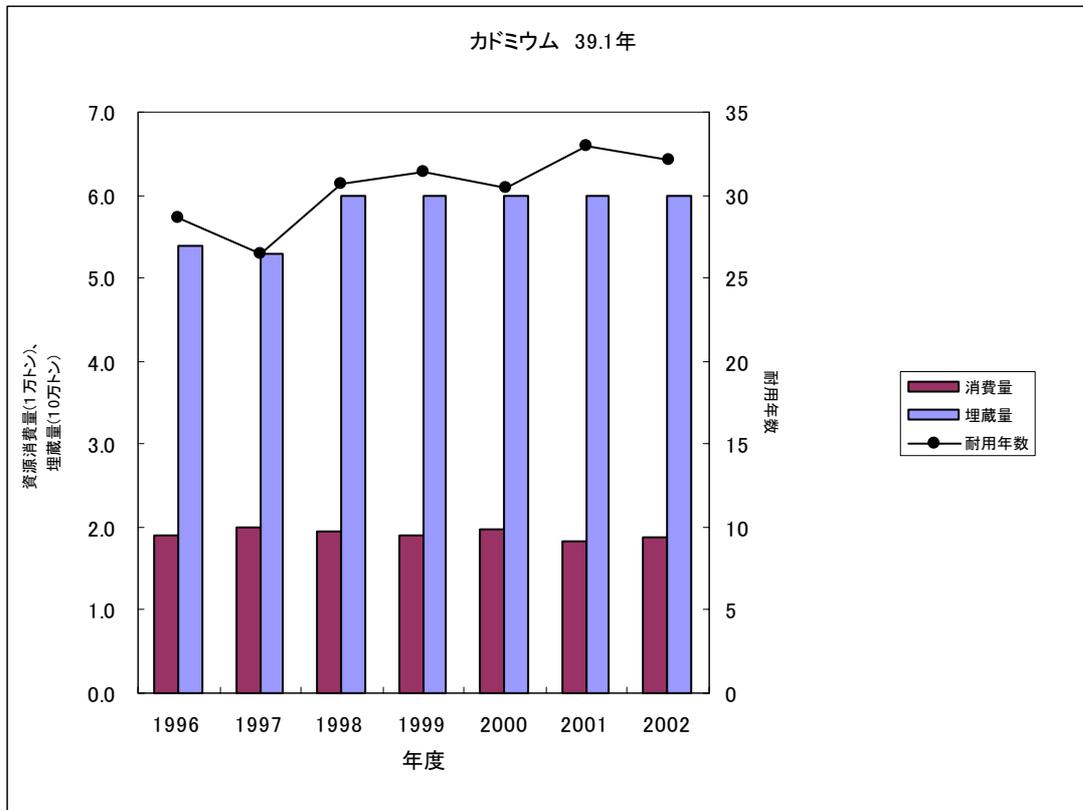


	Boron			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year	B ₂ O ₃			
1995	2,400			
1996	3,200	170,000	420,000	
1997	3,070	170,000	470,000	
1998	4,370	170,000	470,000	
1999	4,370	170,000	470,000	
2000	4,370	170,000	470,000	
2001	4,600	170,000	470,000	
2002	4,800	Large	Large	

Br 臭素

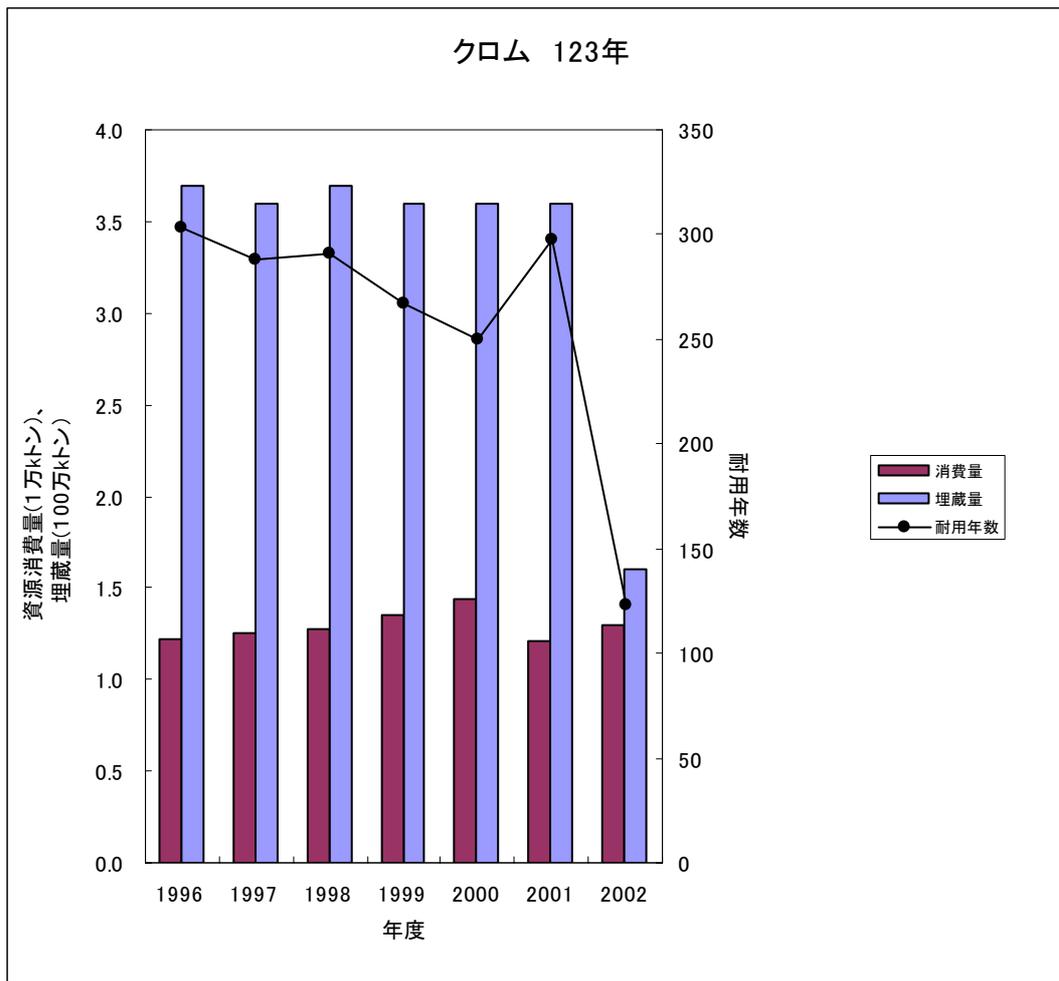
	Bromine			
	Production (1000 t)	Reserves	Reserve base	Resources (t)
Year	Content			
1995	430			
1996	450	NA	NA	1 billion
1997	470	NA	NA	Sea water 100 trillion
1998	510	NA	NA	
1999	530	NA	NA	
2000	542	NA	NA	
2001	540	NA	NA	
2002	550	NA	NA	

Cd カドミウム



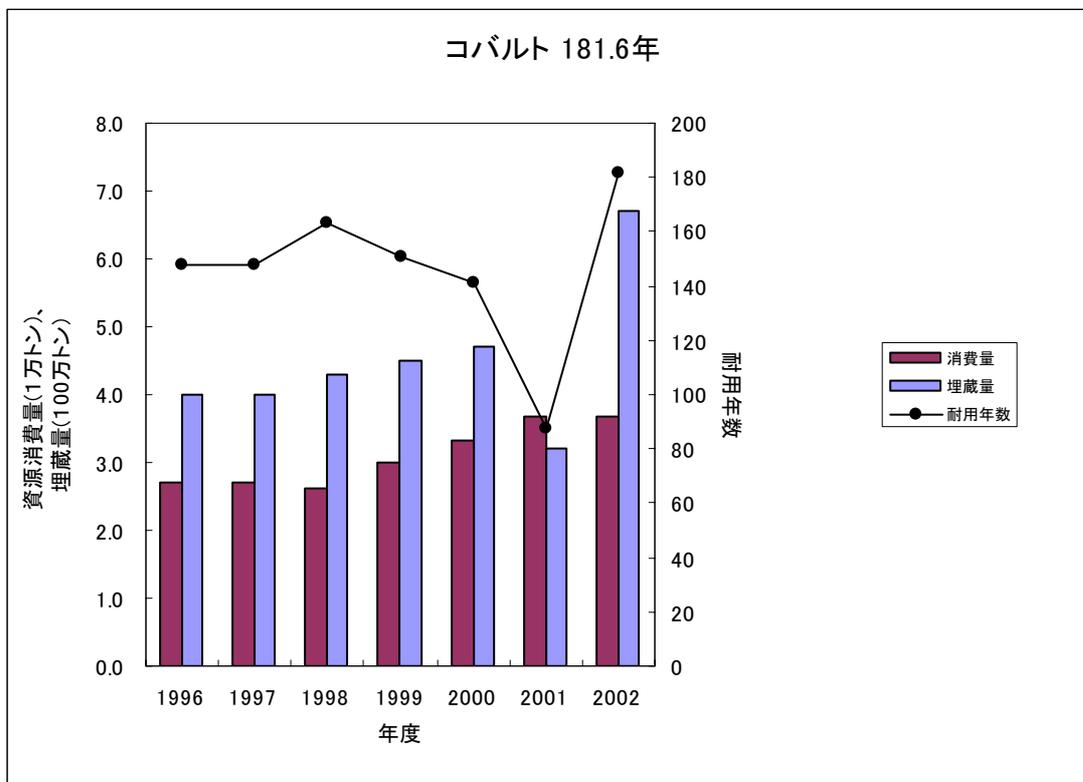
	Cadmium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	18,500			
1996	18,900	540,000	970,000	0.3% of Zn
1997	20,000	530,000	1,000,000	0.3*6 million
1998	19,600	600,000	1,200,000	
1999	19,100	600,000	1,200,000	
2000	19,700	600,000	1,200,000	
2001	18,200	600,000	1,200,000	
2002	18,700	600,000	1,800,000	0.6 million

Cr クロム



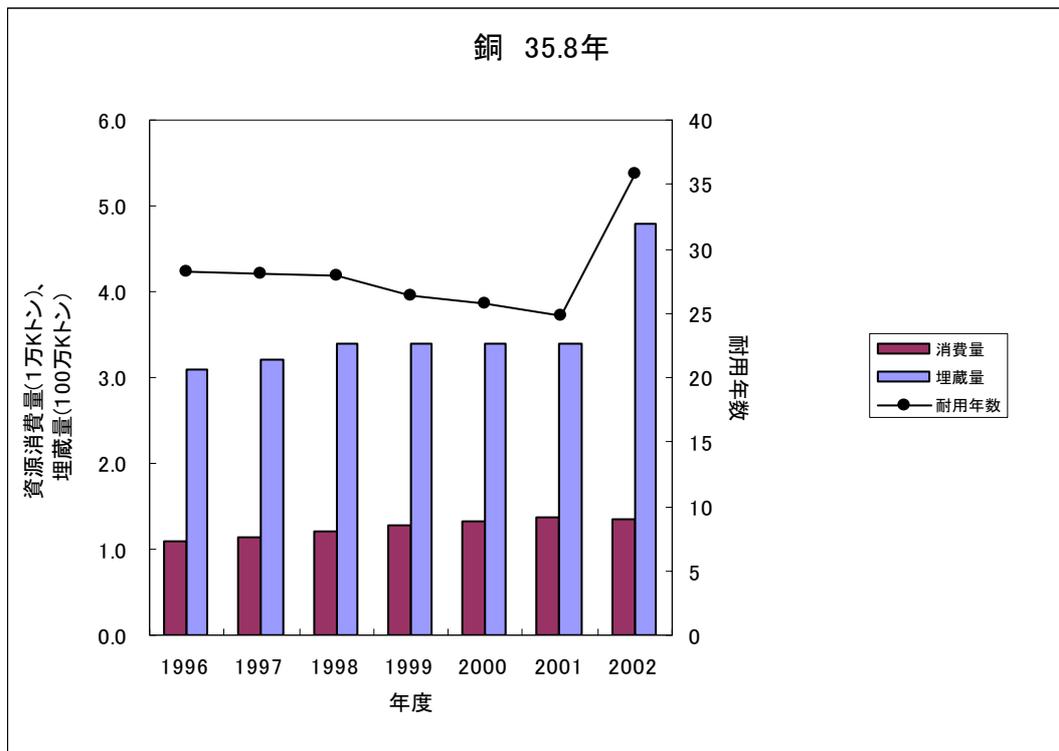
	Chromium			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year	Gross weight			
1995	12,000			
1996	12,190	3,700,000	7,500,000	11 billion
1997	12,500	3,600,000	7,500,000	
1998	12,700	3,700,000	7,600,000	
1999	13,500	3,600,000	7,500,000	
2000	14,400	3,600,000	7,600,000	
2001	12,100	3,600,000	7,600,000	
2002	13,000	1,600,000	7,100,000	

Co コバルト



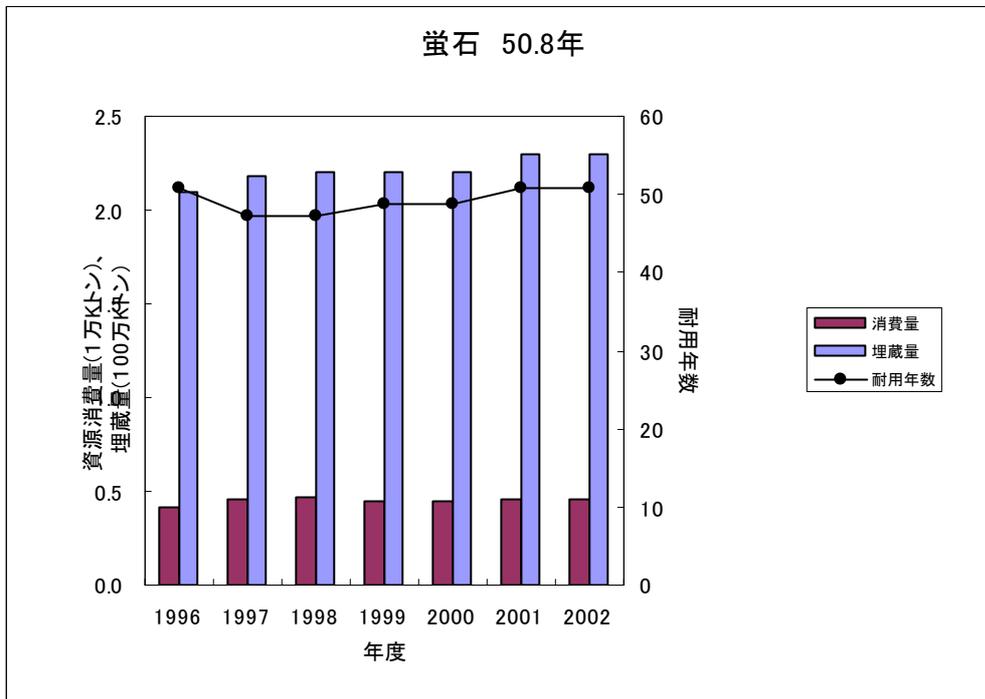
	Cobalt			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	22,100			
1996	27,000	4,000,000	9,000,000	11 million
1997	27,000	4,000,000	9,000,000	
1998	26,300	4,300,000	9,500,000	
1999	29,900	4,500,000	9,600,000	
2000	33,300	4,700,000	9,900,000	
2001	36,700	3,200,000	10,000,000	
2002	36,900	6,700,000	13,000,000	

Cu 銅



	Copper			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	10,000			
1996	11,000	310,000	610,000	1.6 billion
1997	11,400	320,000	630,000	
1998	12,200	340,000	650,000	"+0.7 billion nodule"
1999	12,900	340,000	650,000	
2000	13,200	340,000	650,000	
2001	13,700	340,000	650,000	
2002	13,400	480,000	950,000	

萤石



	Fluorspar			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	3,940			
1996	4,140	210,000	310,000	330 million
1997	4,620	218,000	371,000	
1998	4,670	220,000	370,000	
1999	4,510	220,000	370,000	
2000	4,520	220,000	380,000	
2001	4,530	230,000	440,000	
2002	4,530	230,000	480,000	

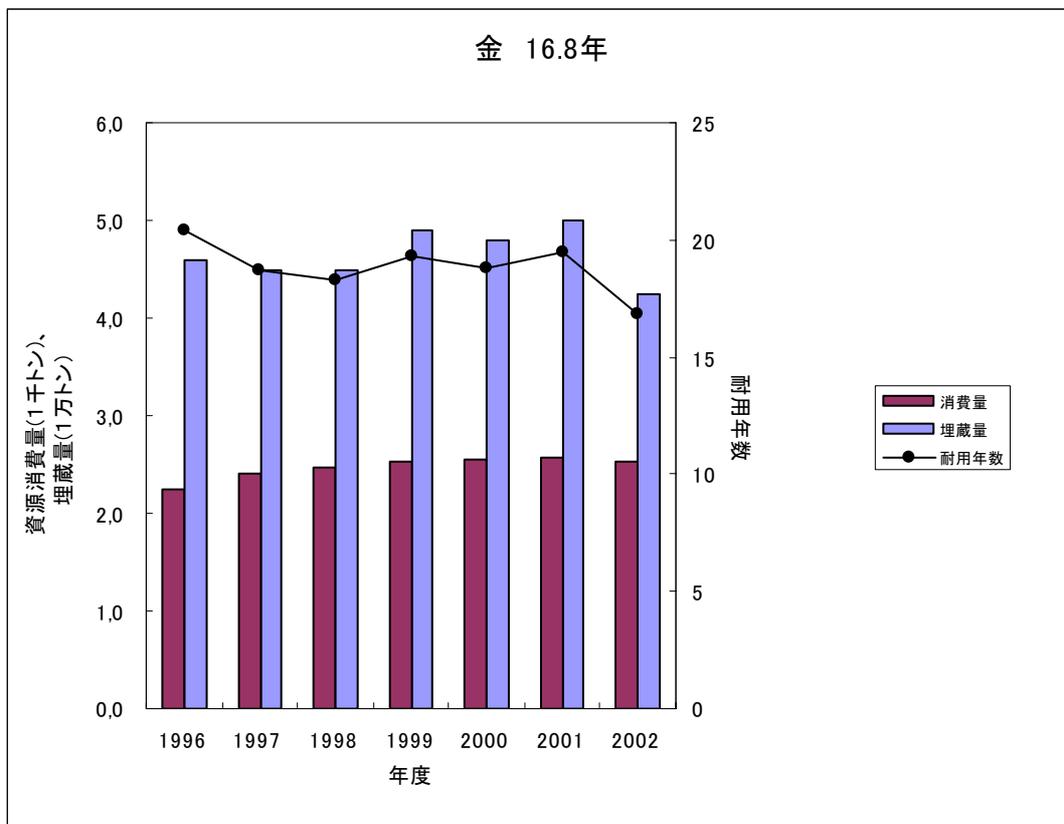
Ga ガリウム

	Gallium			
	Production (kg)	Reserves	Reserve base	Resources (kg)
Year	Content			
1995				
1996	70,000			1 billion
1997	68,000			
1998	60,000			
1999	75,000			
2000	100,000			
2001	110,000			
2002	81,000			

Ge ゲルマニウム

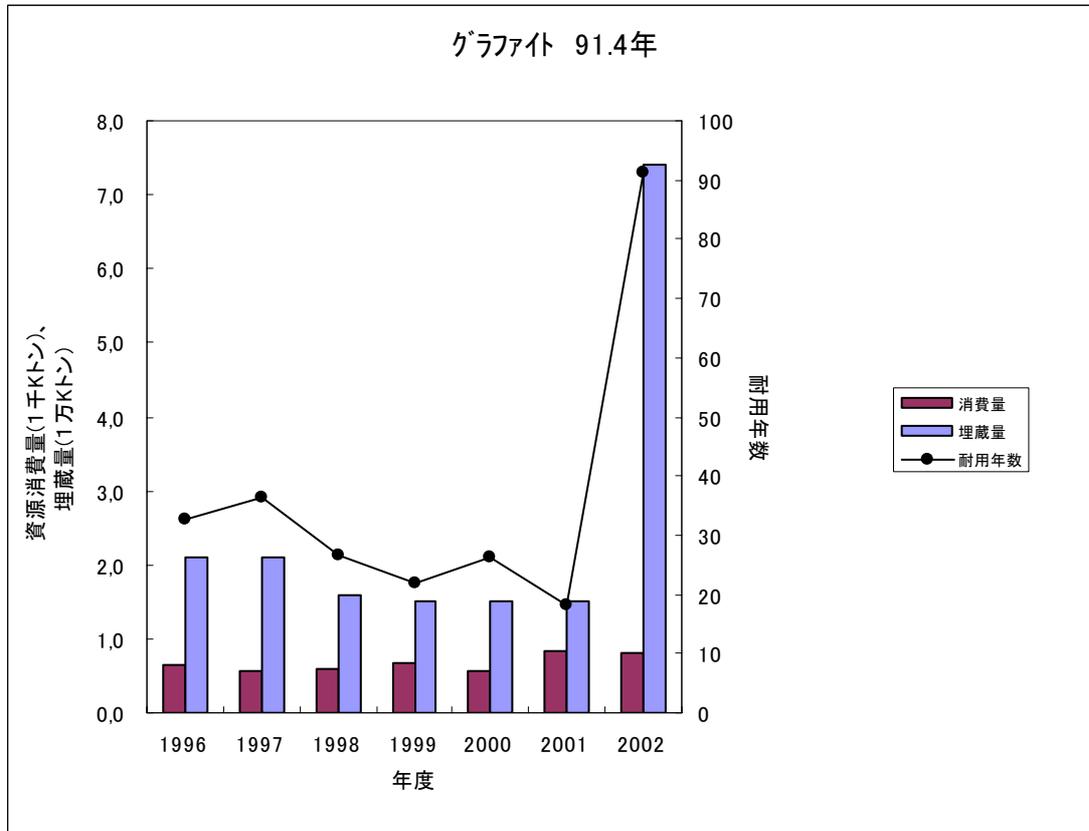
	Germanium			
	Production (kg)	Reserves	Reserve base	Resources
Year	Content			
1995	45,000			
1996	53,000			
1997	63,000			
1998	56,000			
1999	58,000			
2000	71,000			
2001	68,000			
2002	68,000			

Au 金



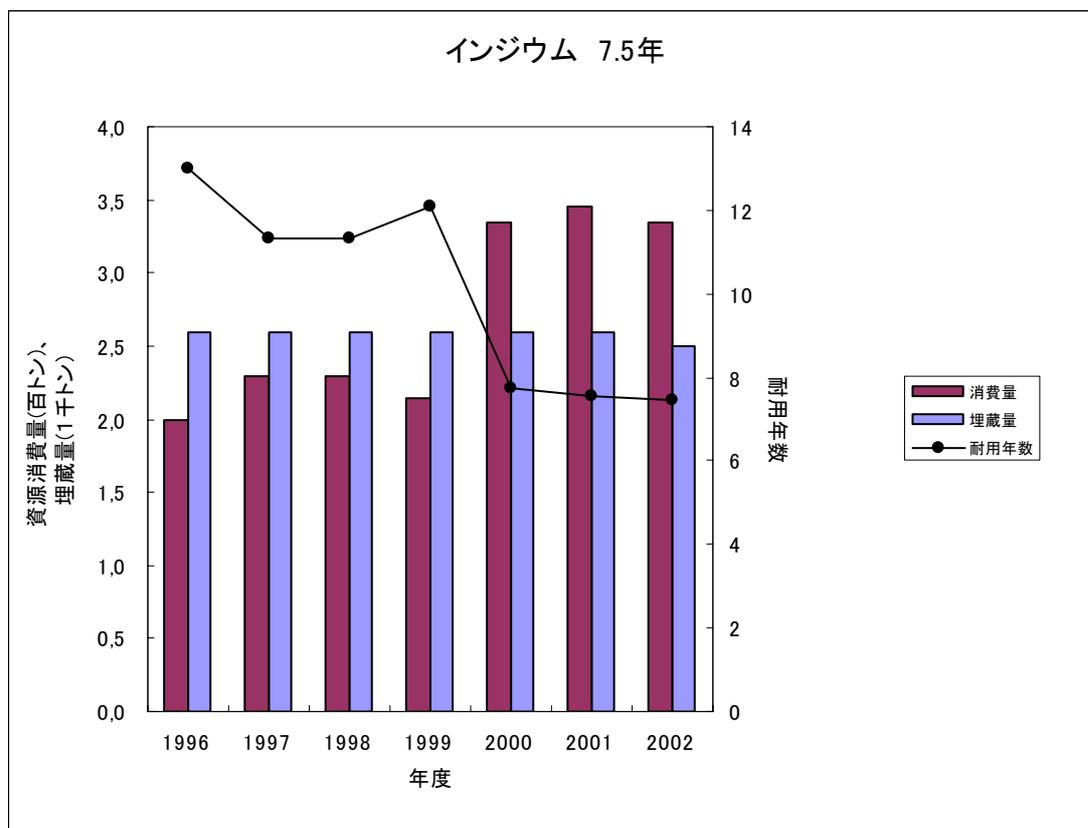
	Gold			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	2,250			
1996	2,250	46,000	71,000	86,000
1997	2,410	45,000	72,000	89,000
1998	2,460	45,000	72,000	89,000
1999	2,540	49,000	77,000	100,000
2000	2,550	48,000	77,000	100,000
2001	2,570	50,000	78,000	100,000
2002	2,530	42,500	89,000	100,000

天然グラファイト



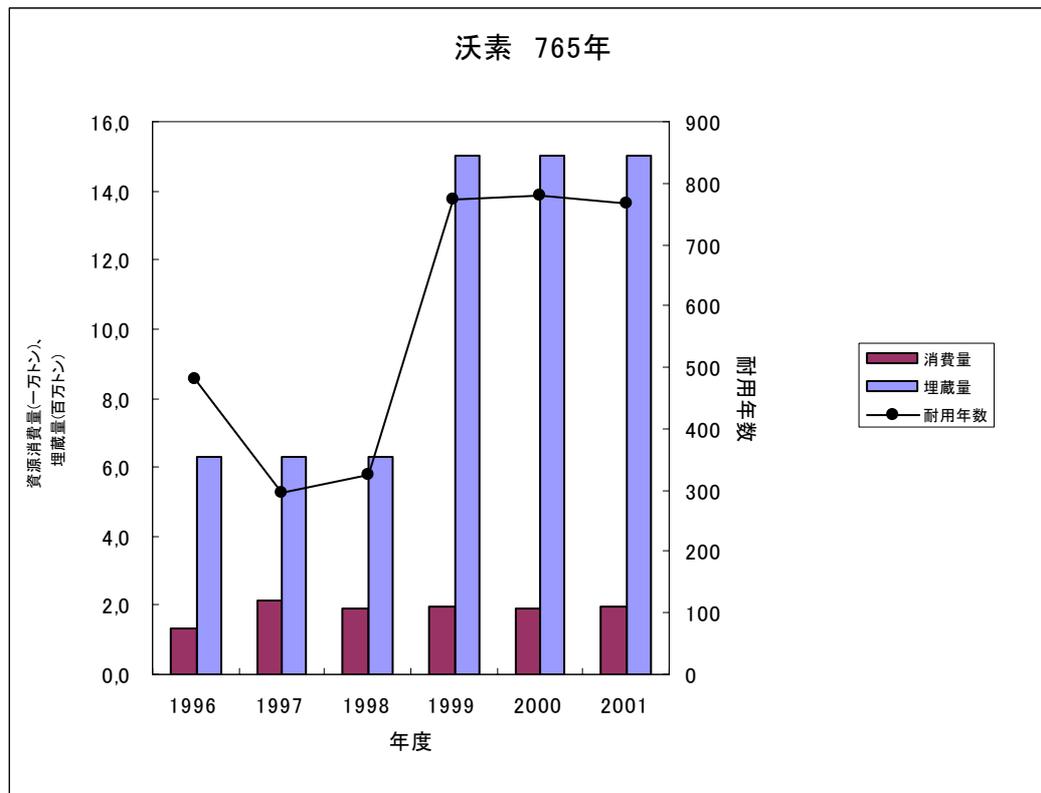
	Graphite (natural)			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	720			
1996	644	21,000	380,000	800 million
1997	575	21,000	380,000	
1998	605	16,000	360,000	
1999	685	15,000	360,000	
2000	571	15,000	360,000	
2001	826	15,000	360,000	
2002	810	74,000	270,000	

In インジウム



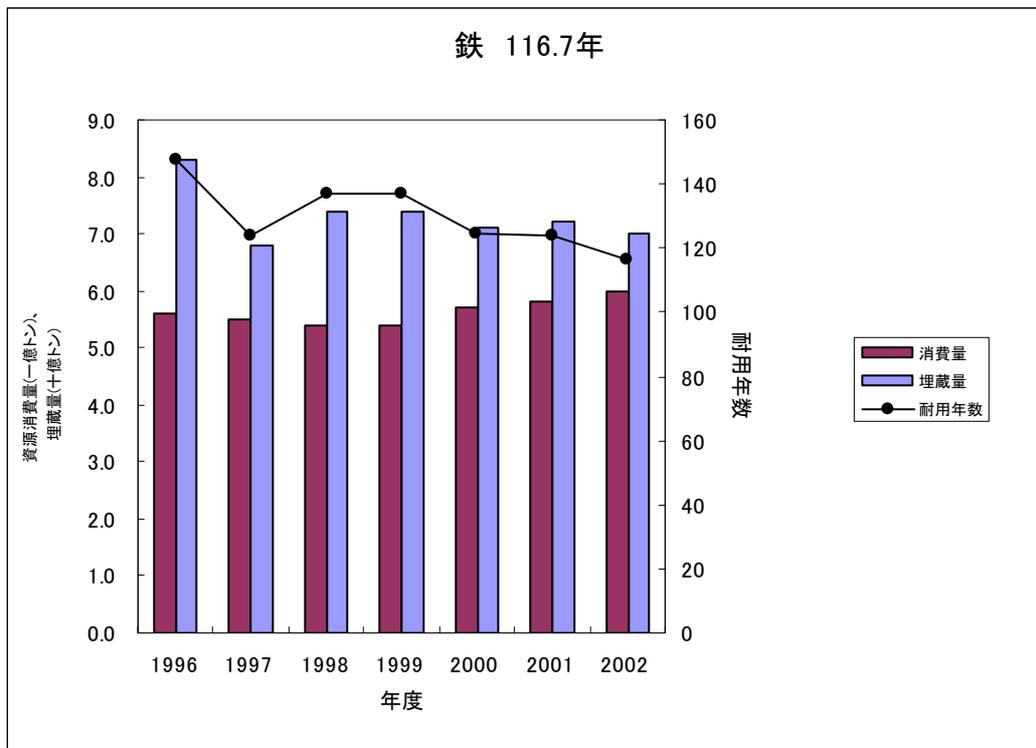
	Indium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year				
1995	239			
1996	200	2,600	5,700	
1997	230	2,600	5,700	
1998	230	2,600	5,700	
1999	215	2,600	5,700	
2000	335	2,600	5,700	
2001	345	2,600	5,700	
2002	335	2,500	6,000	

I 沃素



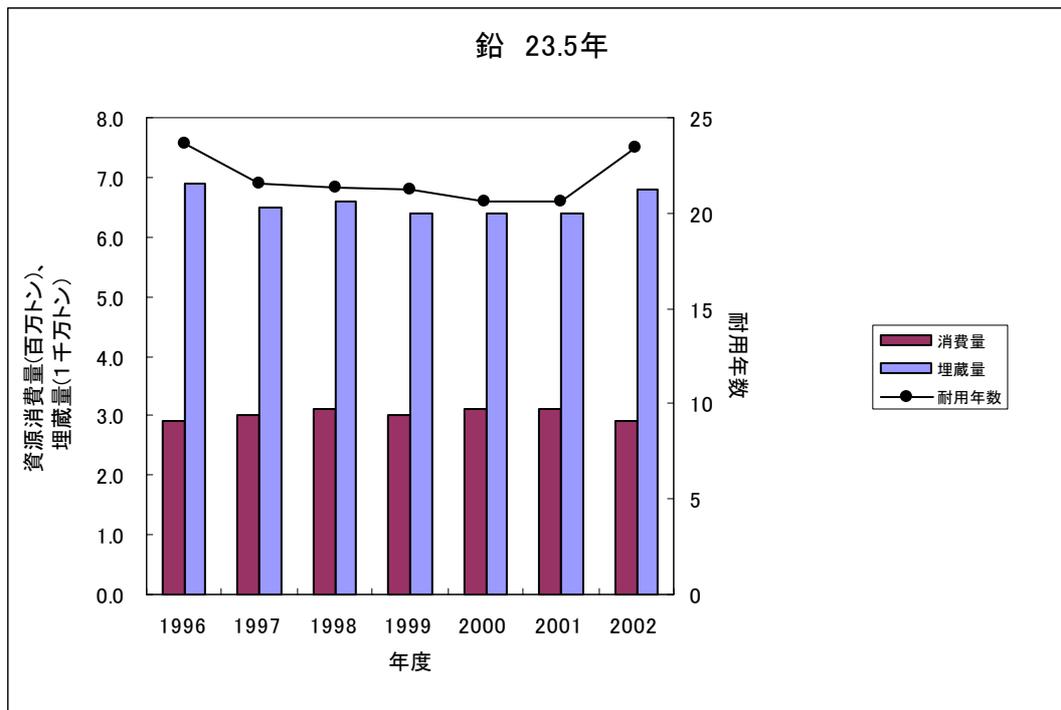
	Iodine			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Element			
1995	13,800			
1996	13,100	NA	NA	76 billion pounds
1997	13,100	6,300,000	NA	
1998	21,300	6,300,000	NA	
1999	19,300	6,300,000	NA	
2000	19,400	15,000,000	27,000,000	34 million tons
2001	19,200	15,000,000	27,000,000	
2002	19,600	15,000,000	27,000,000	

Fe 鉄



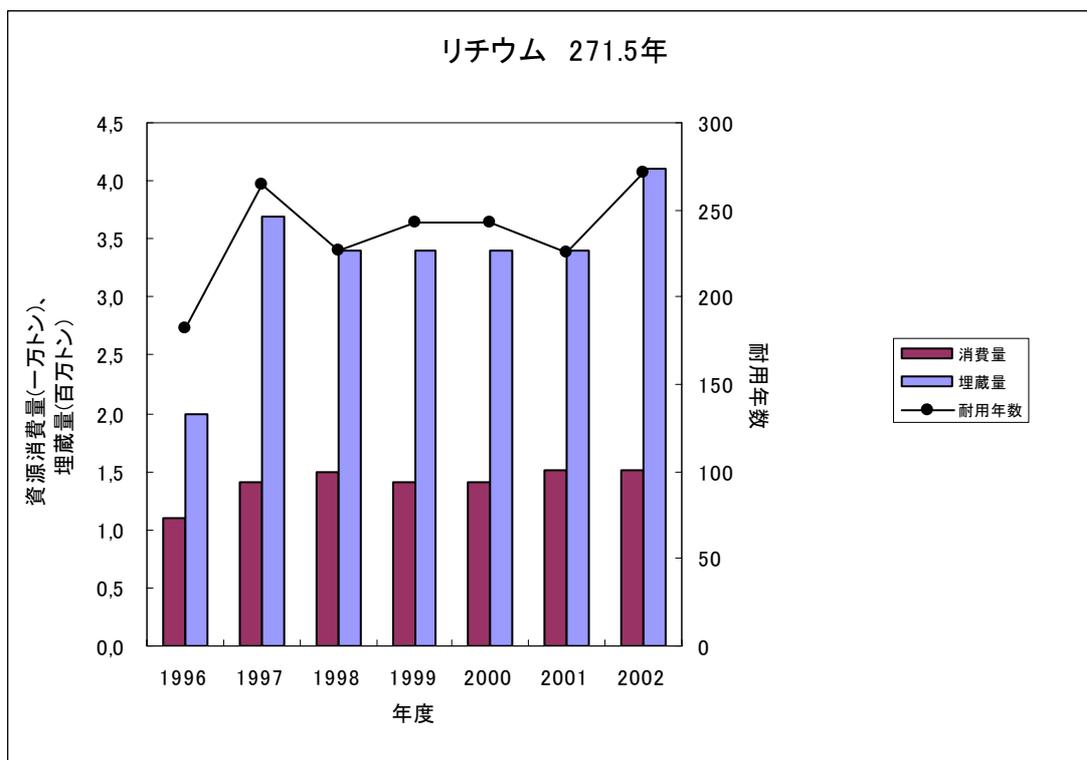
	Iron ore			
	Production (1000000t)	Reserves (1000000t)	Reserve base (1000000t)	Resources (t)
Year	Ore	Iron	Iron	
1995	1,000			
1996	1,020	83,000	124,000	230 billion
1997	1,040	68,000	112,000	
1998	1,020	74,000	160,000	
1999	994	74,000	160,000	
2000	1,060	71,000	160,000	
2001	1,060	72,000	160,000	
2002	1,100	70,000	160,000	

Pb 鉛



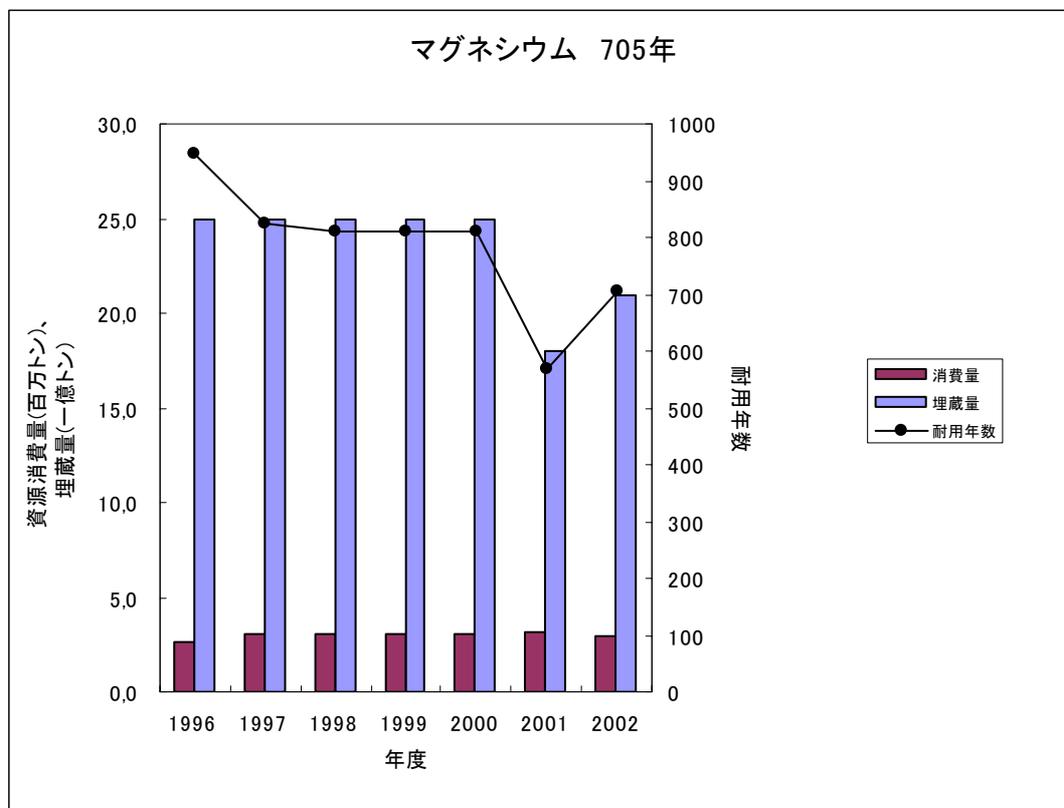
	Lead			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	2,710			
1996	2,920	69,000	120,000	>1.5 million
1997	3,010	65,000	120,000	
1998	3,100	66,000	140,000	
1999	3,020	64,000	143,000	
2000	3,100	64,000	130,000	
2001	3,100	64,000	130,000	
2002	2,900	68,000	140,000	

Li リチウム



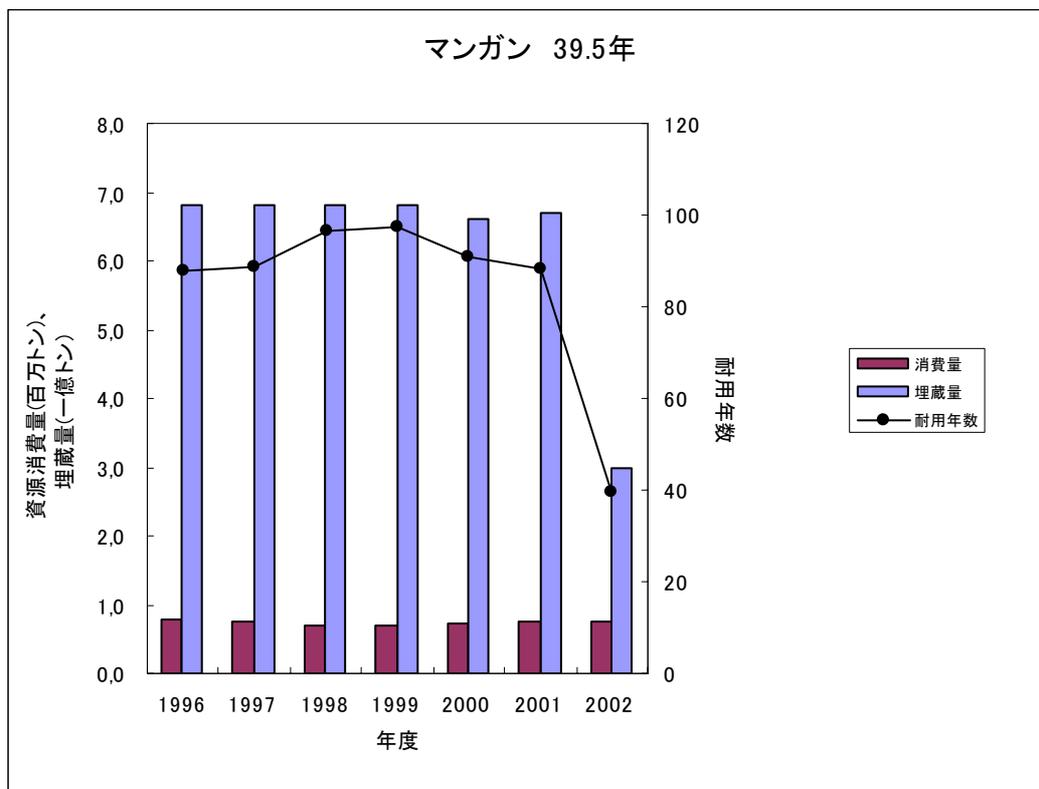
	Lithium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Contain			
1995	6,300			
1996	11,000	2,000,000	81,000,000	12 million
1997	14,000	3,700,000	9,400,000	
1998	15,000	3,400,000	9,400,000	
1999	14,000	3,400,000	9,400,000	
2000	14,000	3,400,000	9,400,000	
2001	15,100	3,400,000	9,400,000	
2002	15,100	4,100,000	11,000,000	>13 million

Mg マグネシウム



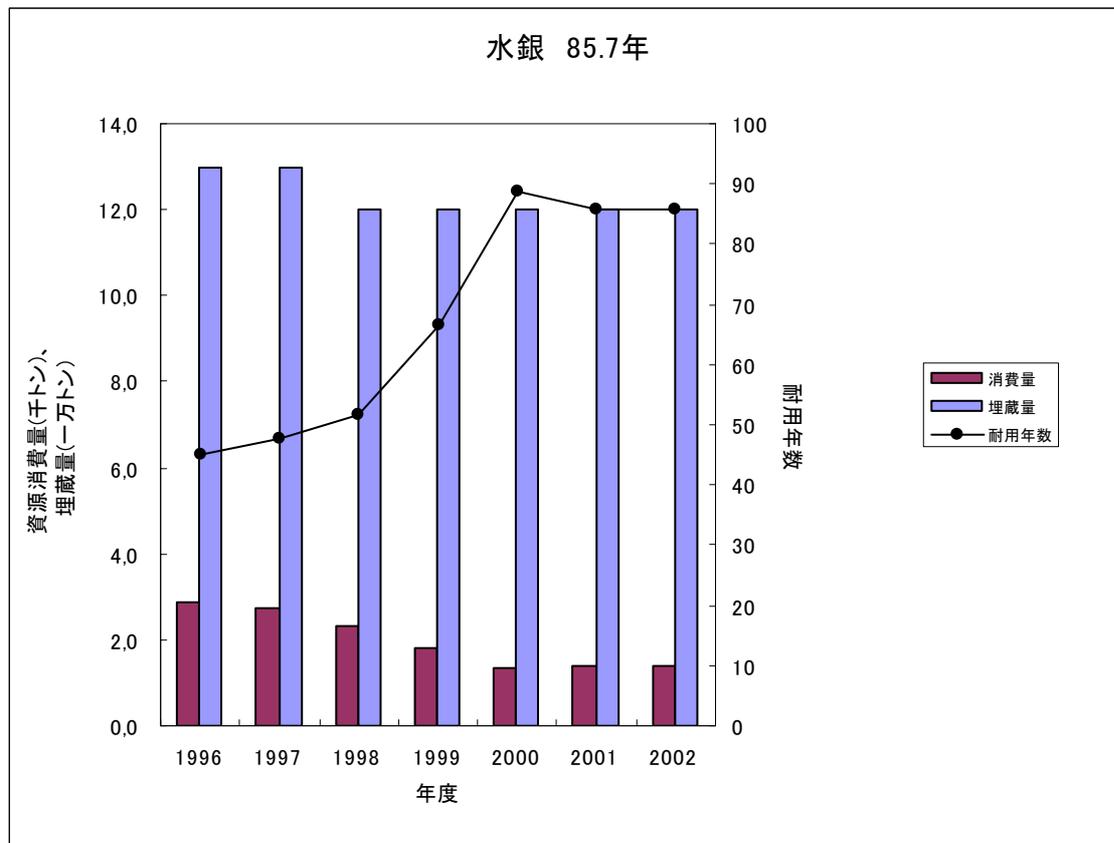
Magnesium compound				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year	Mg content			
1995	2,640			
1996	2,640	2,500,000	3,400,000	12 billion
1997	3,030	2,500,000	3,400,000	
1998	3,090	2,500,000	3,400,000	
1999	3,090	2,500,000	3,400,000	
2000	3,090	2,500,000	3,400,000	
2001	3,170	1,800,000	2,500,000	
2002	2,980	2,100,000	3,600,000	

Mn マンガン



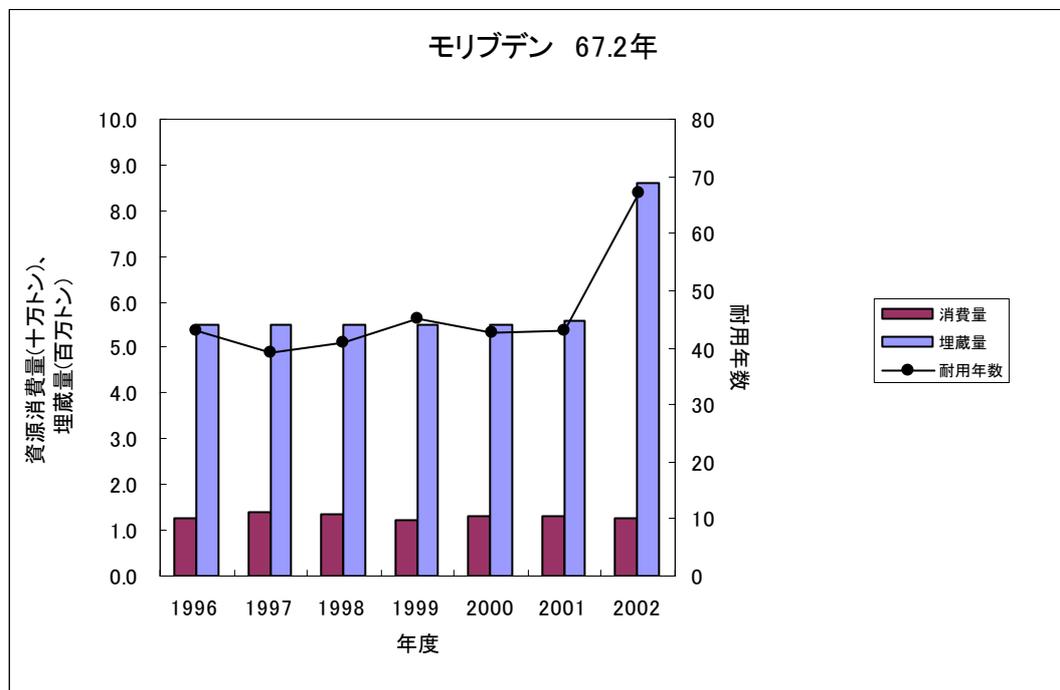
Manganese				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year	Gross			
1995	7,580			
1996	7,730	680,000	5,000,000	
1997	7,680	680,000	5,000,000	
1998	7,040	680,000	5,000,000	
1999	6,990	680,000	5,000,000	
2000	7,280	660,000	5,000,000	
2001	7,600	670,000	5,000,000	
2002	7,600	300,000	5,000,000	

Hg 水銀



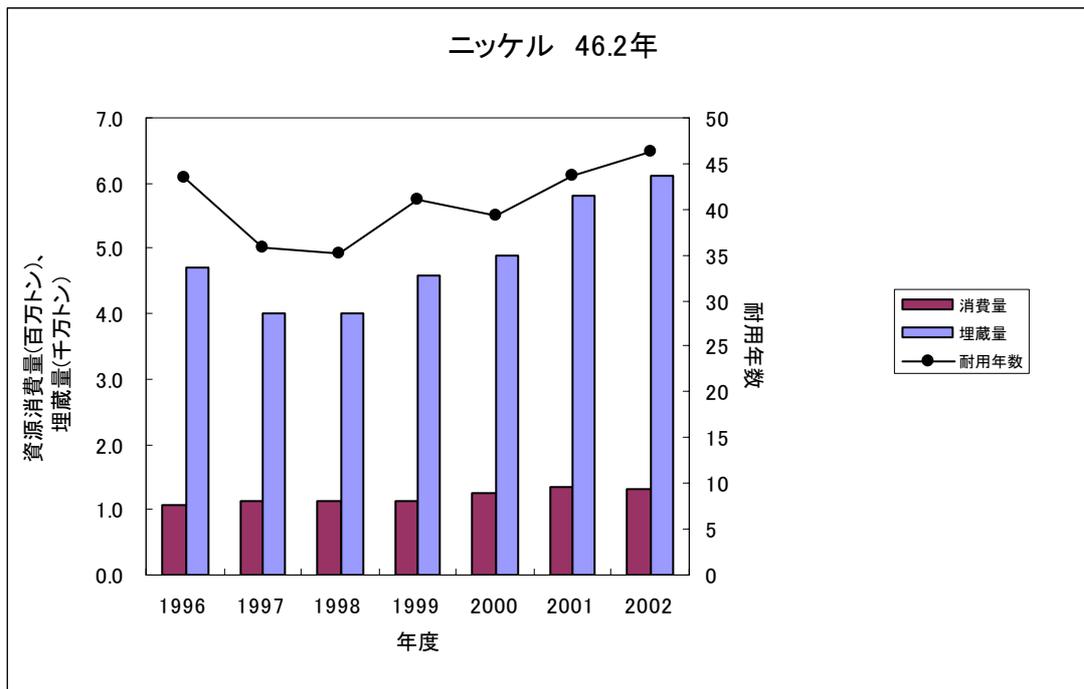
	Mercury			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	2,820			
1996	2,890	130,000	240,000	600,000
1997	2,730	130,000	240,000	
1998	2,320	120,000	240,000	
1999	1,800	120,000	240,000	
2000	1,350	120,000	240,000	
2001	1,400	120,000	240,000	
2002	1,400	120,000	240,000	

Mo モリブデン



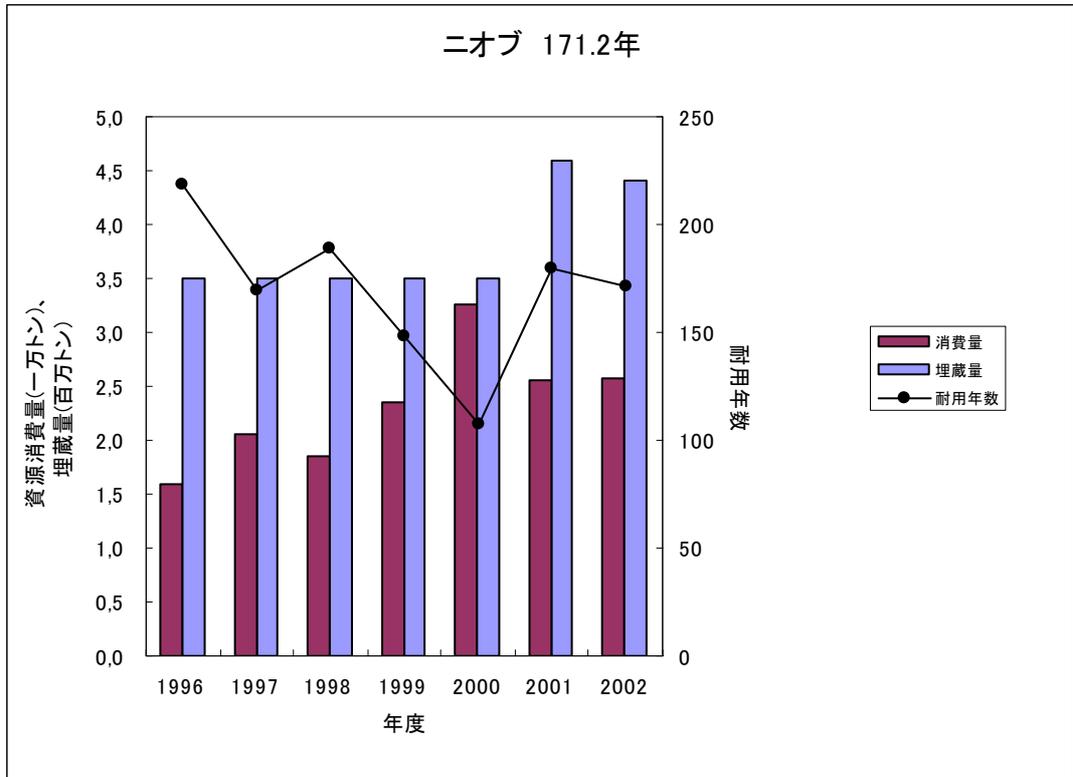
Molybdenum				
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	126,000			
1996	128,000	5,500,000	12,000,000	>17.4 million
1997	140,000	5,500,000	1,200,000	
1998	135,000	5,500,000	1,200,000	
1999	122,000	5,500,000	1,200,000	>17.5 million
2000	129,000	5,500,000	1,200,000	
2001	130,000	5,600,000	11,000,000	
2002	128,000	8,600,000	19,000,000	>18.4 million

Ni ニッケル



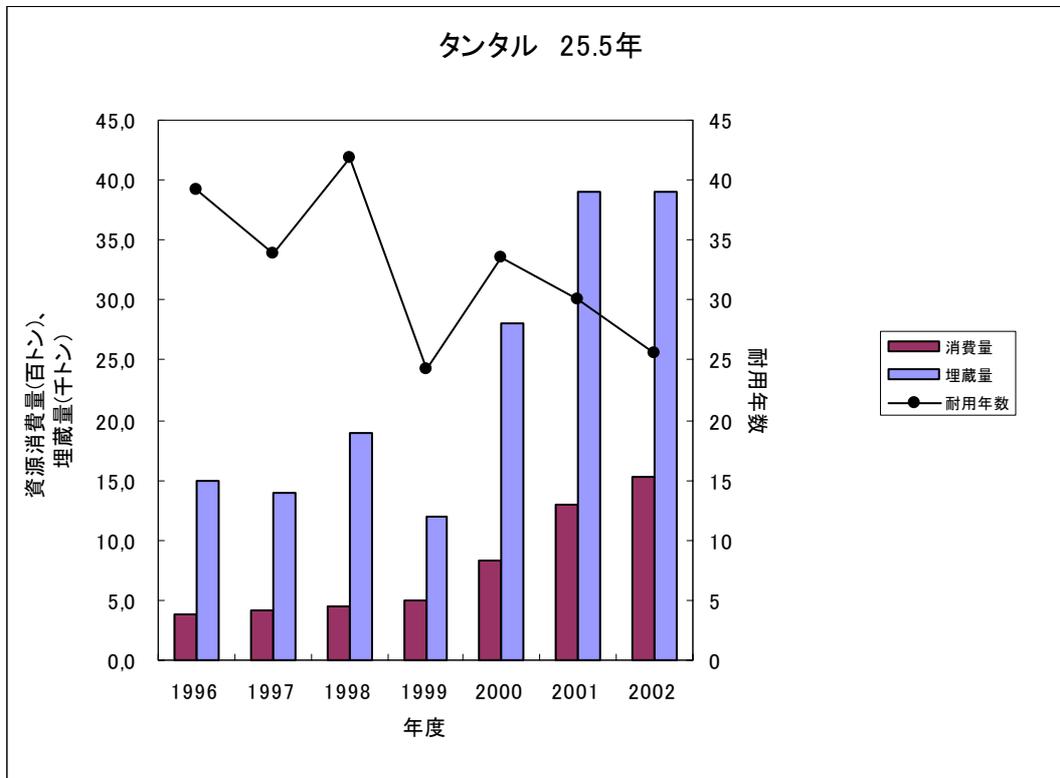
	Nickel			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	1,040,000			
1996	1,080,000	47,000,000	110,000,000	130 million
1997	1,120,000	40,000,000	140,000,000	
1998	1,140,000	40,000,000	140,000,000	
1999	1,120,000	46,000,000	140,000,000	
2000	1,250,000	49,000,000	150,000,000	
2001	1,330,000	58,000,000	160,000,000	
2002	1,320,000	61,000,000	140,000,000	

Nb ニオブ



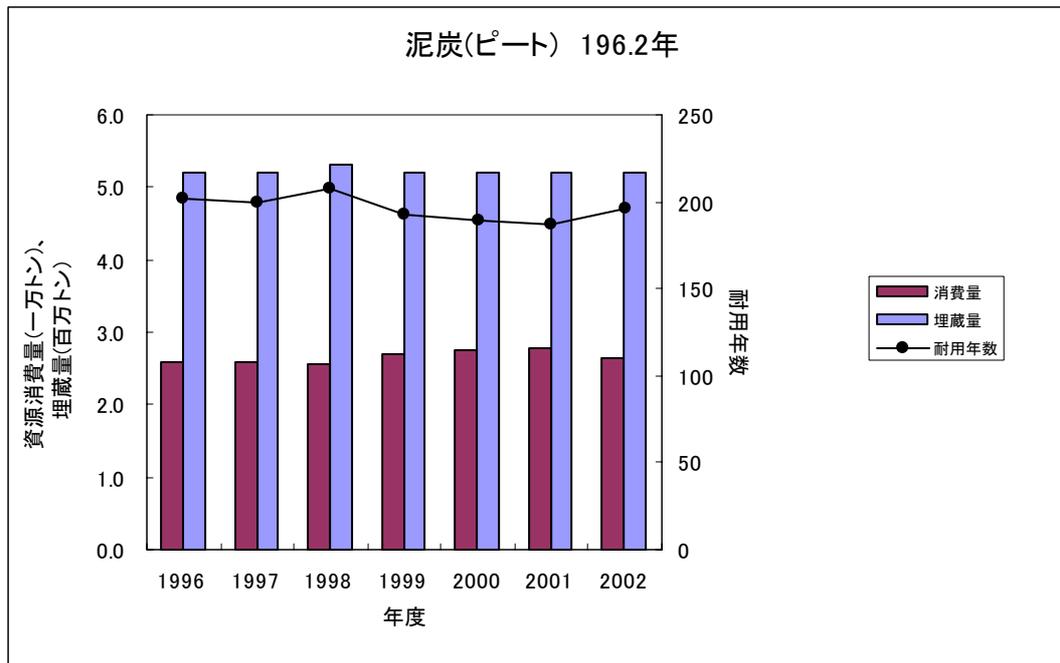
	Niobium			
	Production (1000 kg)	Reserves (1000 kg)	Reserve base (1000 kg)	Resources
Year	Content			
1995	17,800			
1996	16,000	3,500,000	4,200,000	360 million kg
1997	20,600	3,500,000	4,200,000	360,000 t
1998	18,500	3,500,000	5,600,000	
1999	23,600	3,500,000	5,500,000	
2000	32,600	3,500,000	5,500,000	
2001	25,600	4,600,000	5,700,000	
2002	25,700	4,400,000	5,200,000	

Ta タンタル



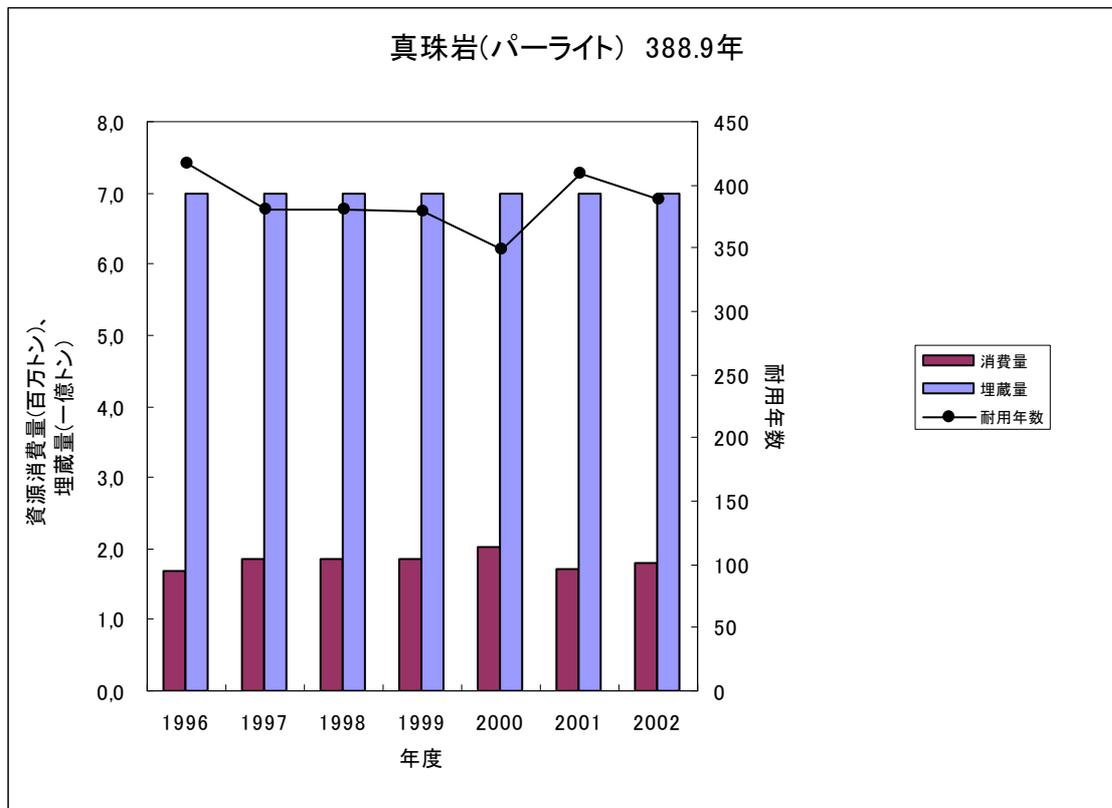
	Tantalum			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	356			
1996	383	15,000	26,000	
1997	413	14,000	24,000	
1998	454	19,000	24,000	
1999	495	12,000	36,000	
2000	836	28,000	60,000	
2001	1,300	39,000	120,000	
2002	1,530	39,000	110,000	

泥炭



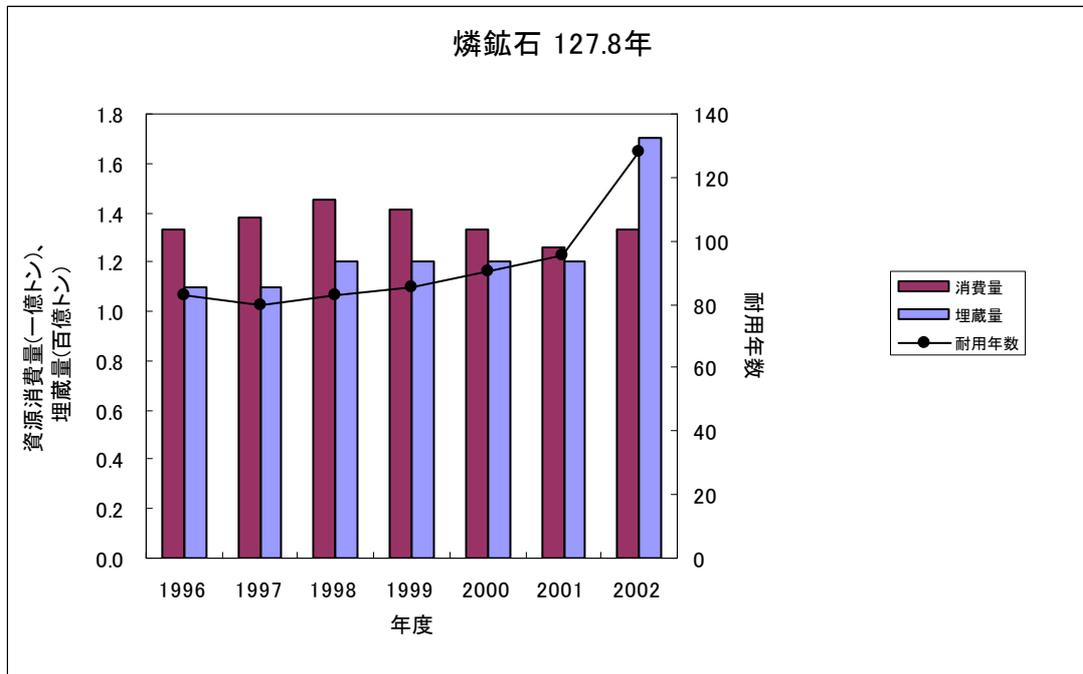
	Peat			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	128,000			
1996	25,800	5,200,000	460,000,000	1.9 trillion
1997	26,000	5,200,000	460,000,000	
1998	25,500	5,300,000	460,000,000	
1999	27,000	5,200,000	200,000,000	
2000	27,400	5,200,000	200,000,000	2 trillion
2001	27,900	5,200,000	200,000,000	
2002	26,500	5,200,000	200,000,000	

真珠岩



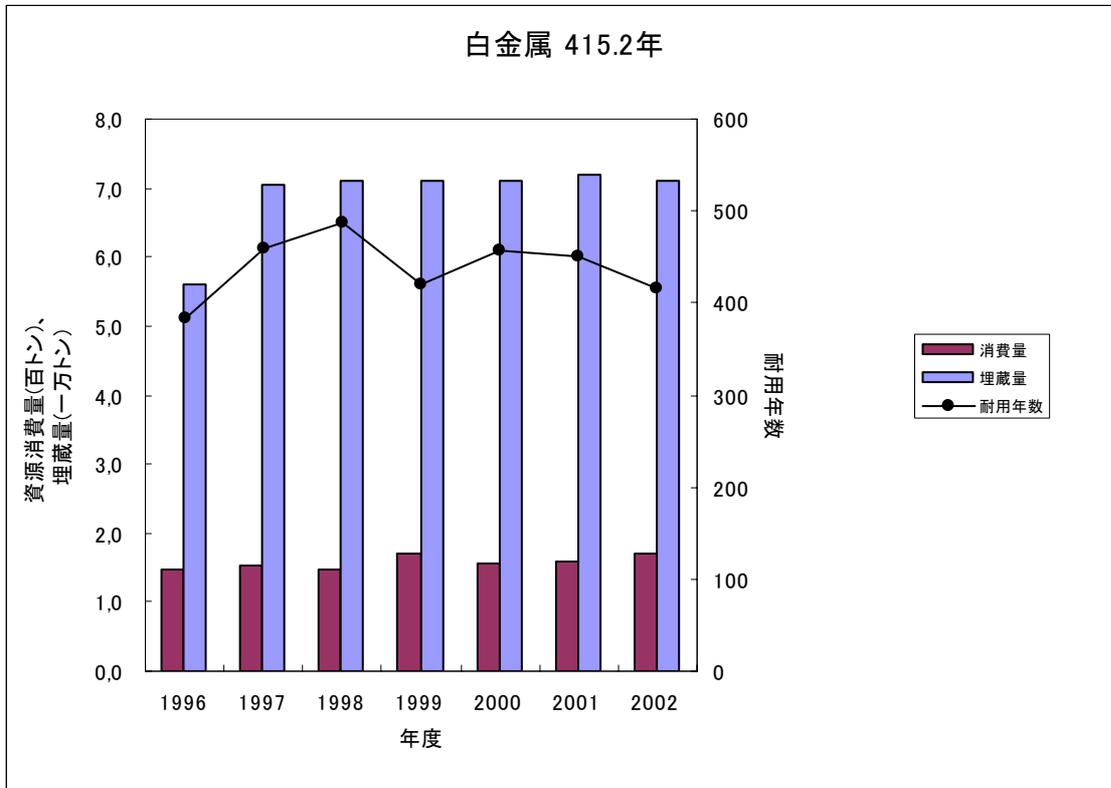
	Perlite			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year				
1995	1,480			
1996	1,682	700,000	2,000,000	Little information
1997	1,840	700,000	2,000,000	
1998	1,840	700,000	2,000,000	
1999	1,850	700,000	2,000,000	
2000	2,010	700,000	2,000,000	
2001	1,710	700,000	2,000,000	
2002	1,800	700,000	7,700,000	

磷鉱石



Phosphate rock				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year				
1995	131,000			
1996	133,000	11,000,000	34,000,000	
1997	138,000	11,000,000	33,000,000	
1998	145,000	12,000,000	35,000,000	
1999	141,000	12,000,000	36,000,000	
2000	133,000	12,000,000	37,000,000	
2001	126,000	12,000,000	47,000,000	
2002	133,000	17,000,000	50,000,000	

白金属 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

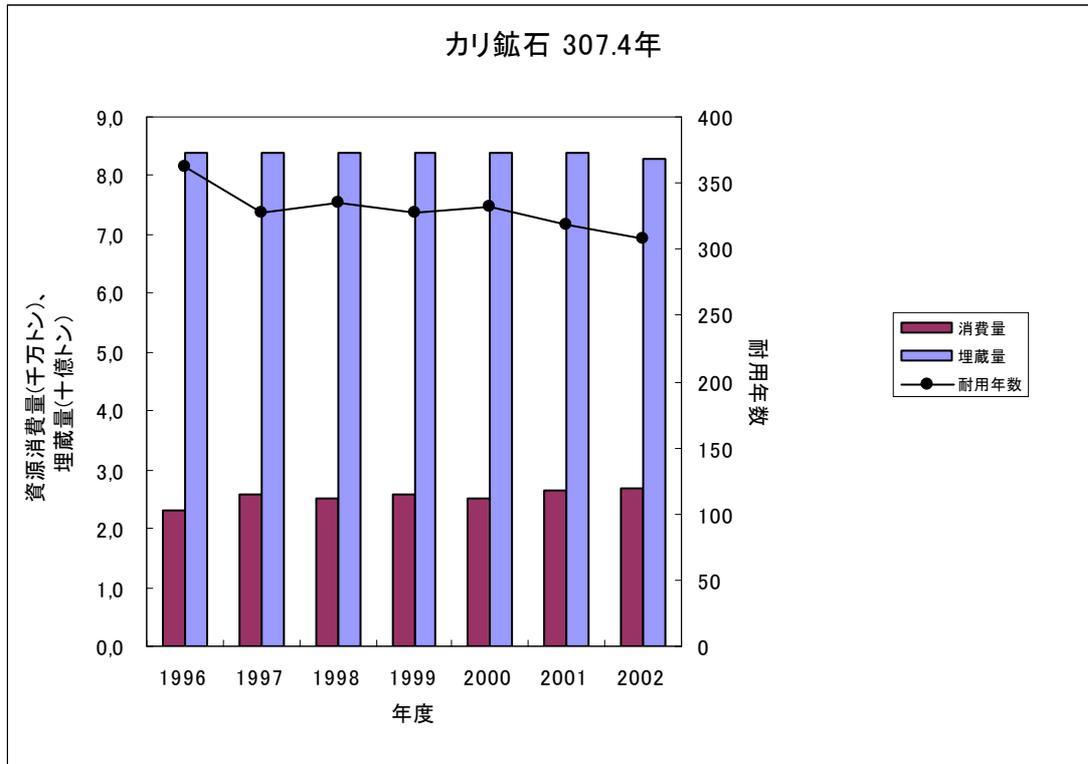


Platinum group				
	Production (kg)	Reserves (kg)	Reserve base (kg)	Resources (kg)
Year				
1995	145,000			
1996	146,000	56,000,000	66,000,000	100 million
1997	154,000	70,600,000	77,500,000	
1998	146,000	71,000,000	78,000,000	
1999	169,000	71,000,000	78,000,000	
2000	155,000	71,000,000	79,000,000	
2001	160,000	72,000,000	73,000,000	
2002	171,000	71,000,000	80,000,000	

Pd パラジウム

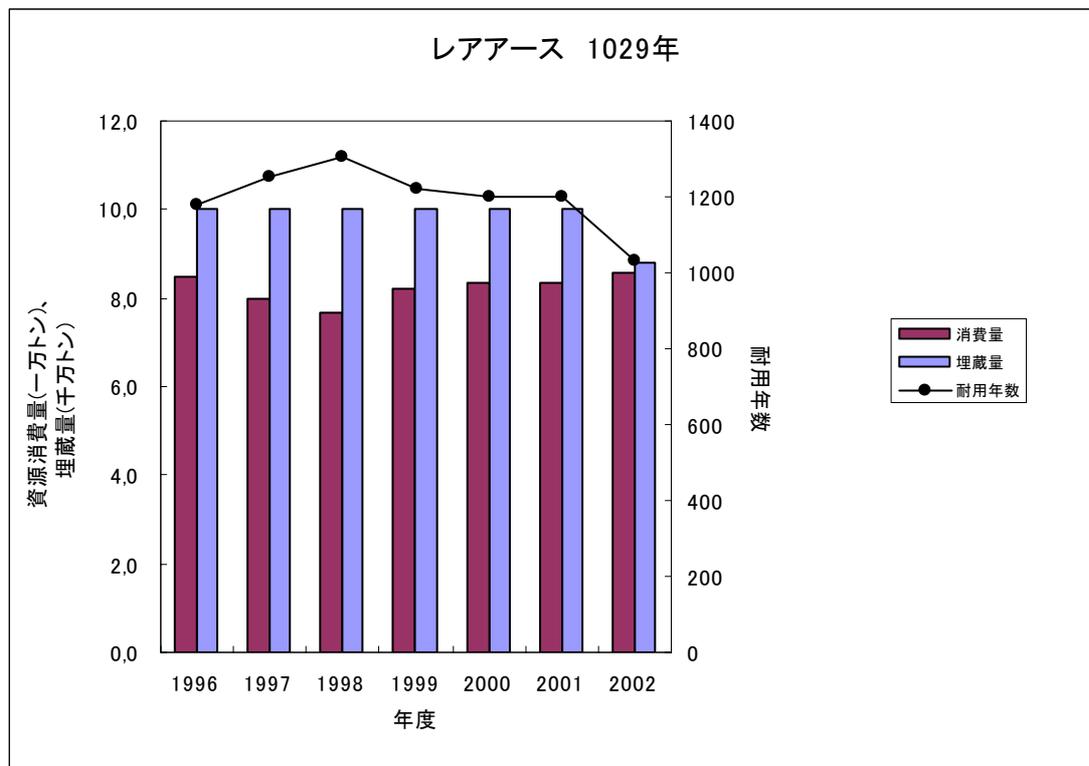
	Palladium			
	Production (kg)	Reserves	Reserve base	Resources
Year				
1995	112,000			
1996	111,000			
1997	119,000			
1998	150,000			
1999	178,000			
2000	174,000			
2001	179,000			
2002	193,000			

カリ鉱石



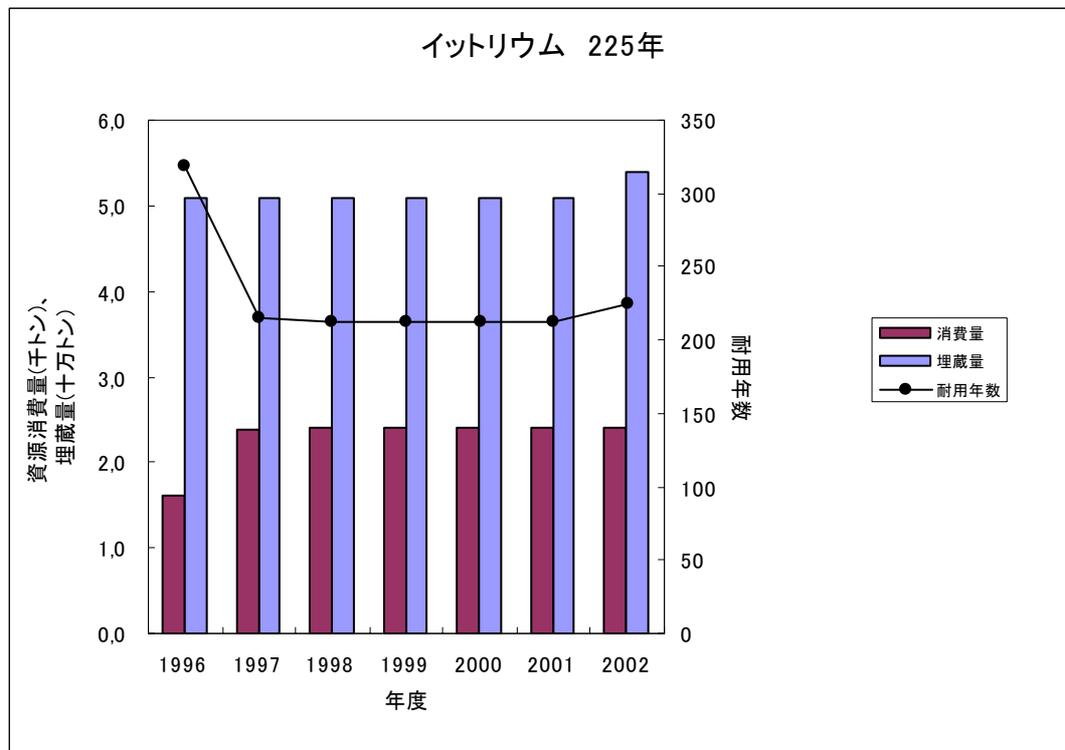
	Potash			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year	K ₂ O			
1995	24,300			
1996	23,200	8,400,000	17,000,000	
1997	25,700	8,400,000	17,000,000	
1998	25,100	8,400,000	17,000,000	
1999	25,700	8,400,000	17,000,000	
2000	25,300	8,400,000	17,000,000	
2001	26,400	8,400,000	17,000,000	
2002	27,000	8,300,000	17,000,000	

レアアース



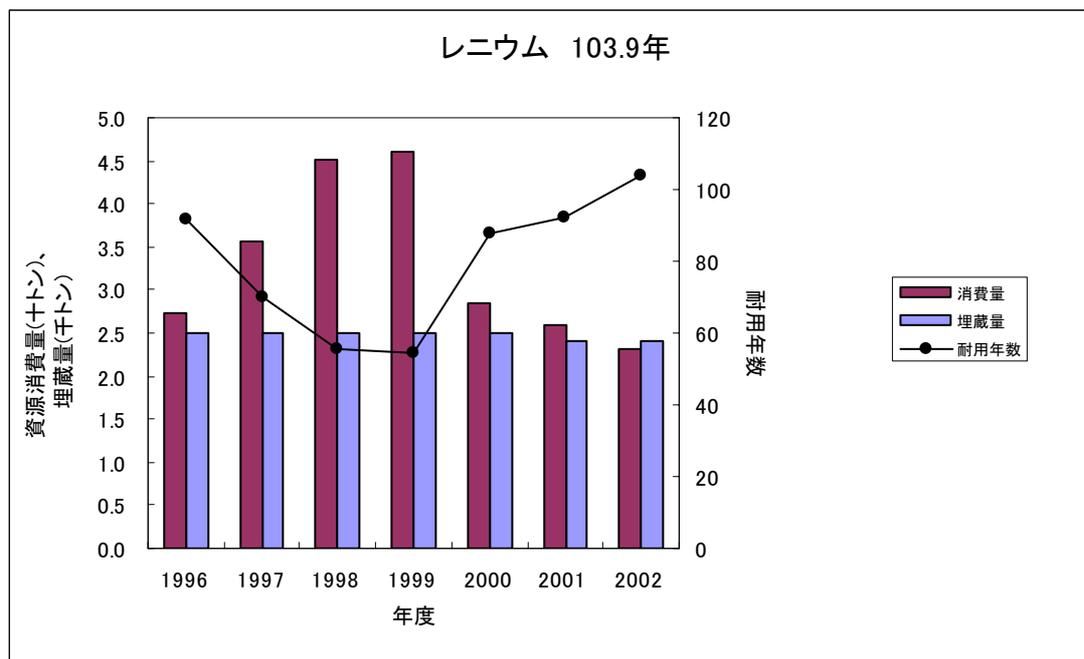
	Rare earth			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	79,900			
1996	84,800	100,000,000	110,000,000	
1997	79,700	100,000,000	110,000,000	
1998	76,600	100,000,000	110,000,000	
1999	82,000	100,000,000	110,000,000	
2000	83,500	100,000,000	110,000,000	
2001	83,500	100,000,000	110,000,000	
2002	85,500	88,000,000	150,000,000	

Y イットリウム



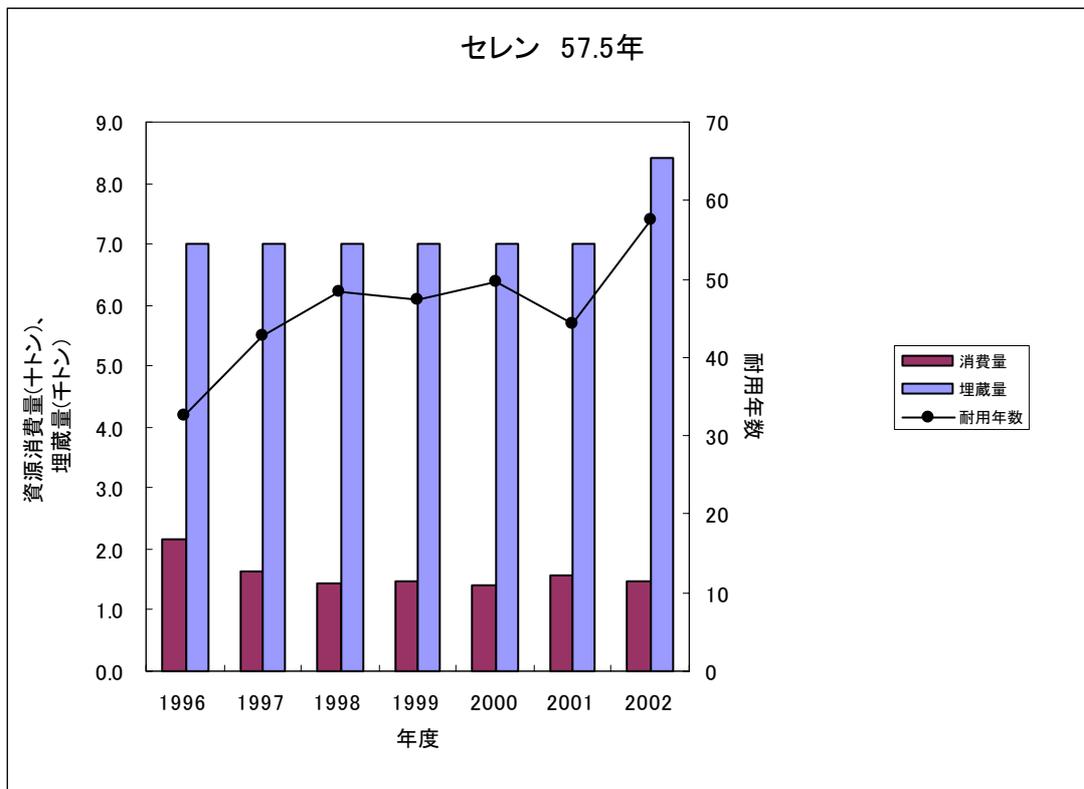
	Yttrium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Y ₂ O ₃			
1995	1,450			
1996	1,600	510,000	560,000	
1997	2,370	510,000	560,000	
1998	2,400	510,000	560,000	
1999	2,400	510,000	560,000	
2000	2,400	510,000	560,000	
2001	2,400	510,000	560,000	
2002	2,400	540,000	610,000	

Re レニウム



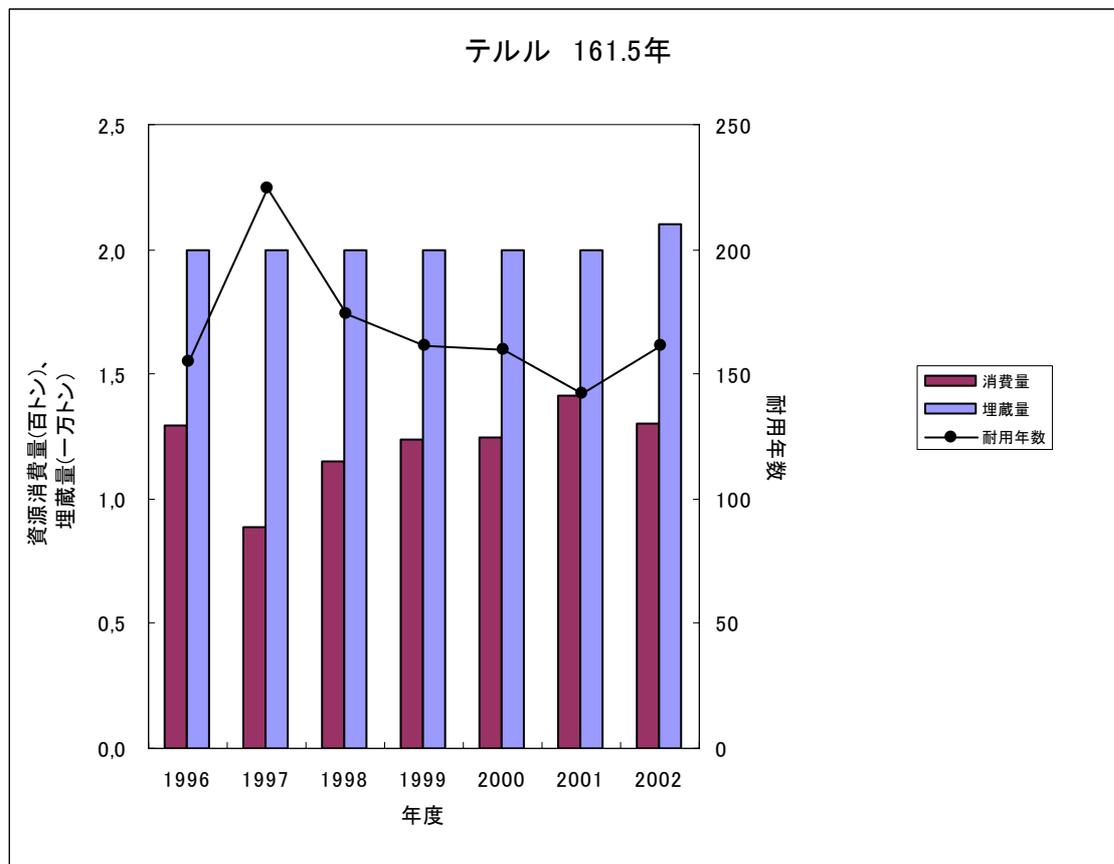
	Rhenium			
	Production (kg)	Reserves (kg)	Reserve base (kg)	Resources (kg)
Year	Content			
1995	28,200			
1996	27,200	2,500,000	11,000,000	11 million
1997	35,600	2,500,000	11,000,000	
1998	45,100	2,500,000	11,000,000	
1999	46,000	2,500,000	11,000,000	
2000	28,400	2,500,000	11,000,000	
2001	26,000	2,400,000	10,000,000	
2002	23,100	2,400,000	10,000,000	

Se セレン



	Selenium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	2,070			
1996	2,150	70,000	130,000	
1997	1,640	70,000	130,000	
1998	1,450	70,000	130,000	
1999	1,480	70,000	130,000	
2000	1,410	70,000	130,000	
2001	1,580	70,000	130,000	
2002	1,460	84,000	180,000	

Te テルル

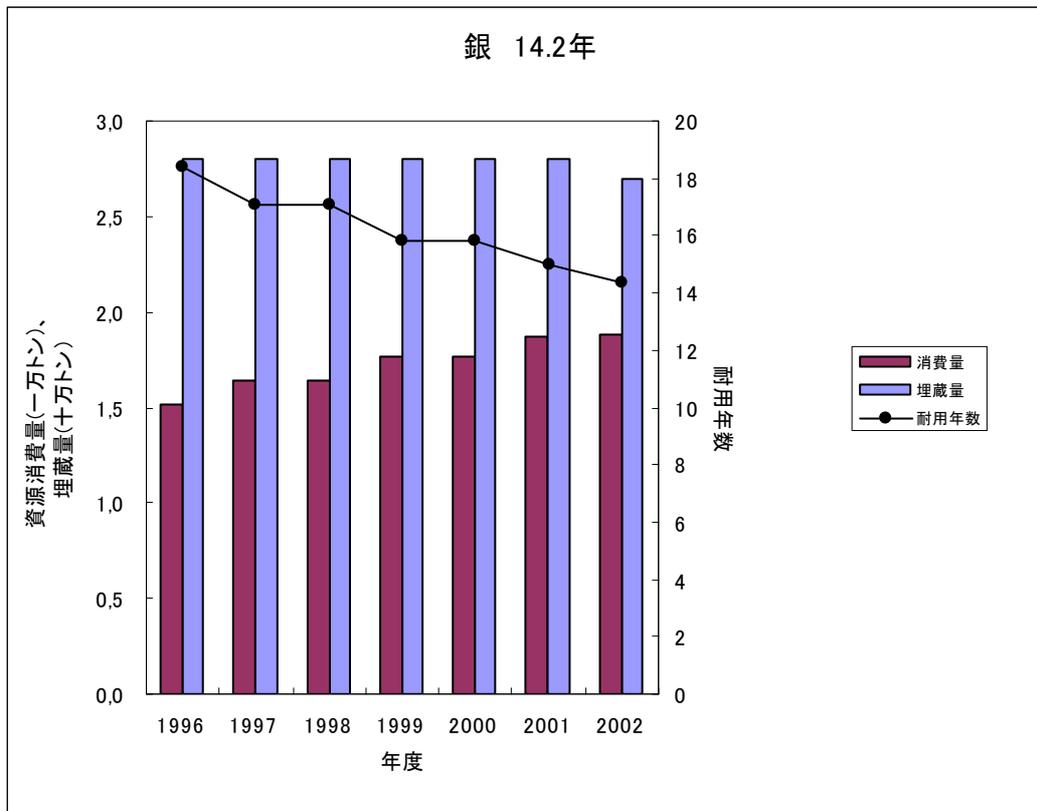


	Tellurium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	NA			
1996	129	20,000	38,000	
1997	89	20,000	38,000	
1998	115	20,000	38,000	
1999	124	20,000	38,000	
2000	125	20,000	38,000	
2001	141	20,000	38,000	
2002	130	21,000	47,000	

Si 珪素

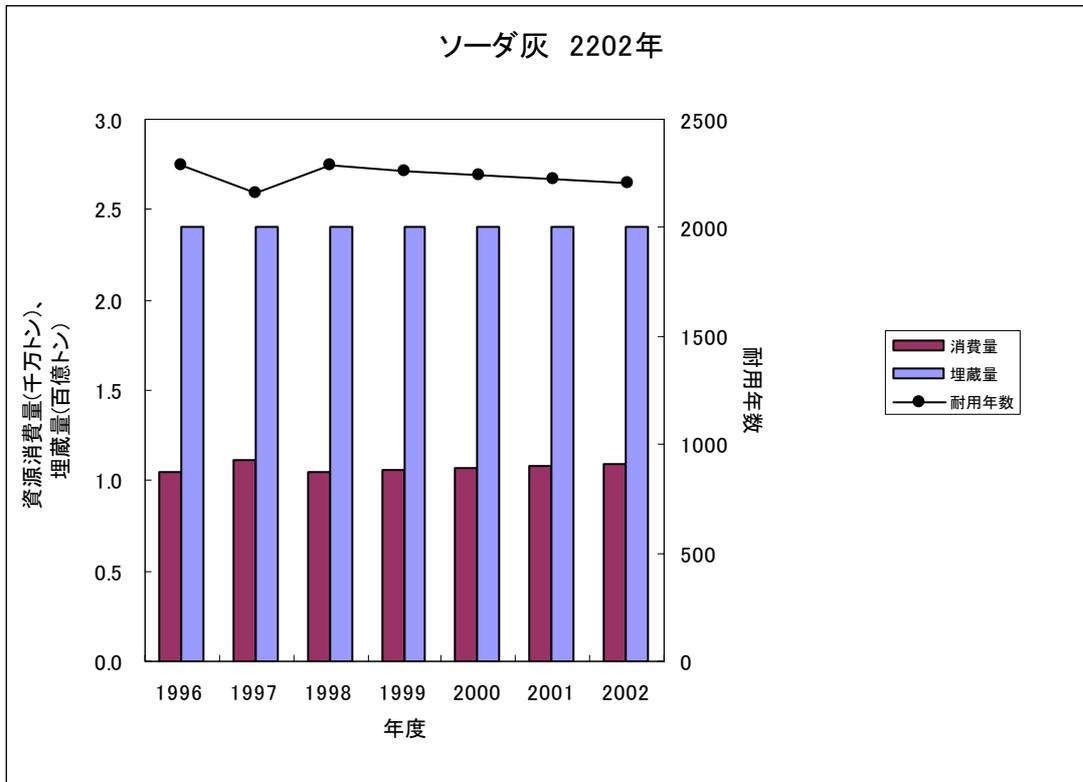
	Silicon			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year	Content			
1995	3,100			
1996	3,200			
1997	3,400			
1998	3,200			
1999	3,400			
2000	3,500			
2001	3,500			
2002	4,100			

Ag 銀



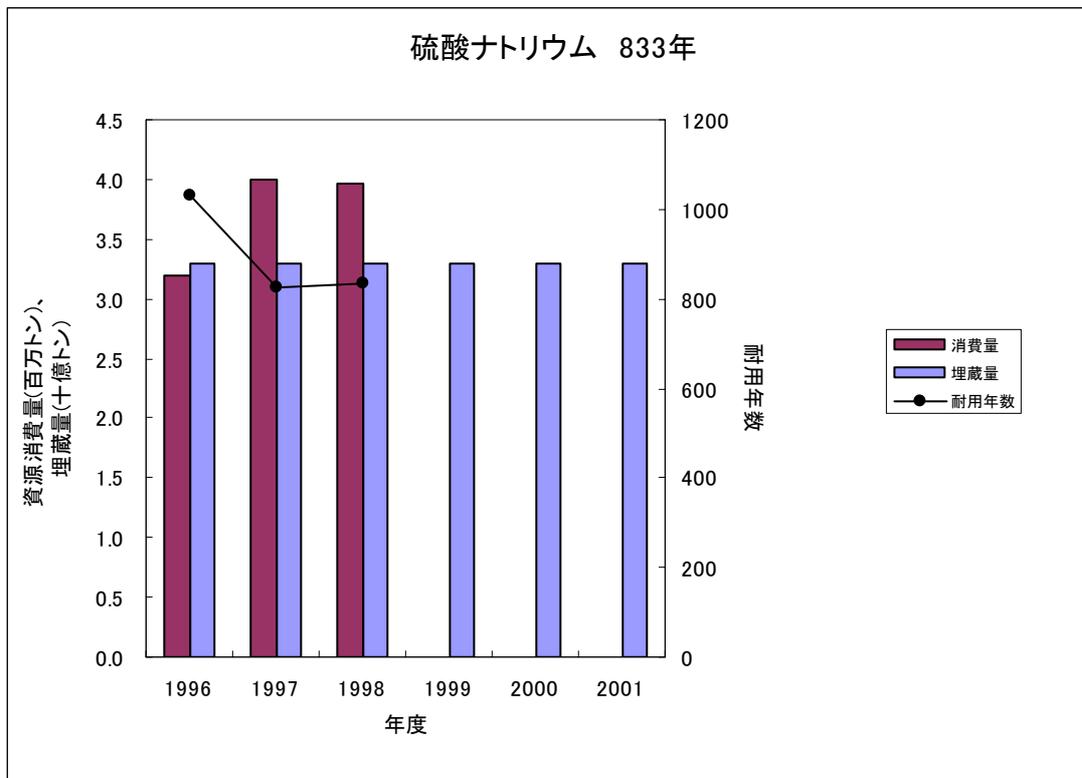
	Silver			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	14,600			
1996	15,200	280,000	420,000	
1997	16,400	280,000	420,000	
1998	16,400	280,000	420,000	
1999	17,700	280,000	420,000	
2000	17,700	280,000	420,000	
2001	18,700	280,000	430,000	
2002	18,800	270,000	520,000	

ソーダ灰



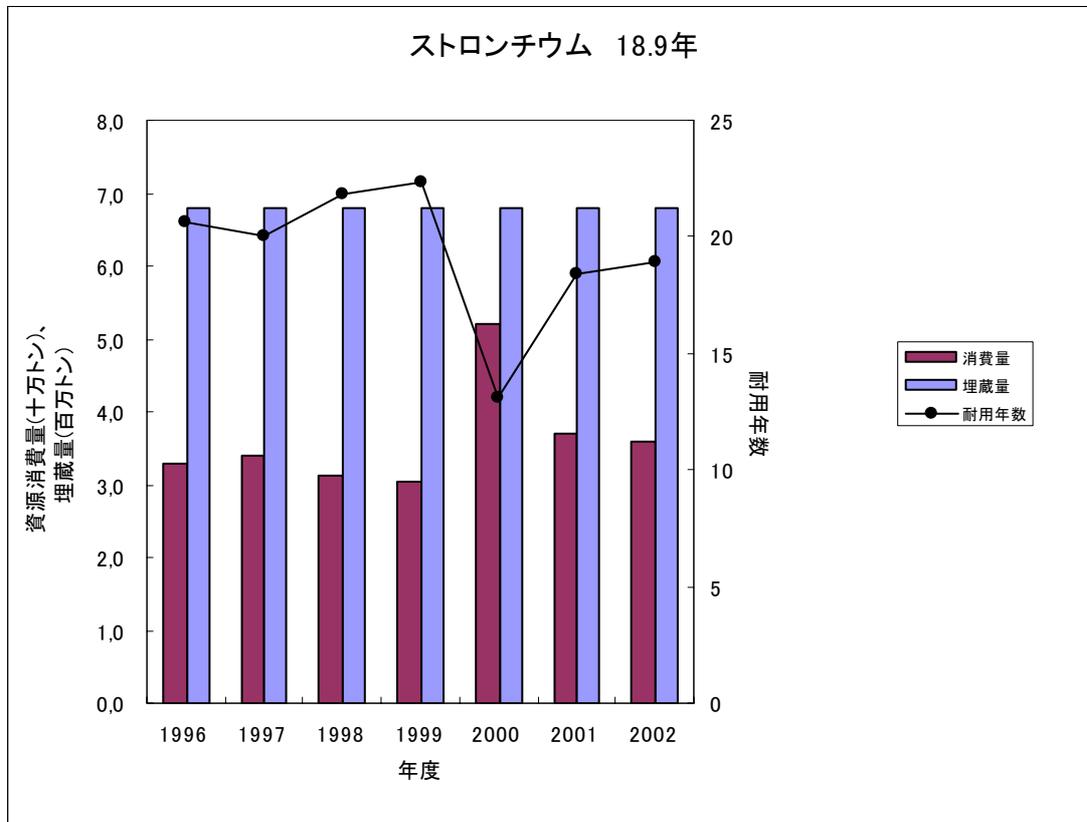
	Soda ash			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year				
1995	10,400			
1996	10,500	24,000,000	40,000,000	
1997	11,100	24,000,000	40,000,000	
1998	10,500	24,000,000	40,000,000	
1999	10,600	24,000,000	40,000,000	
2000	10,700	24,000,000	40,000,000	
2001	10,800	24,000,000	40,000,000	
2002	10,900	24,000,000	40,000,000	

硫酸ナトリウム



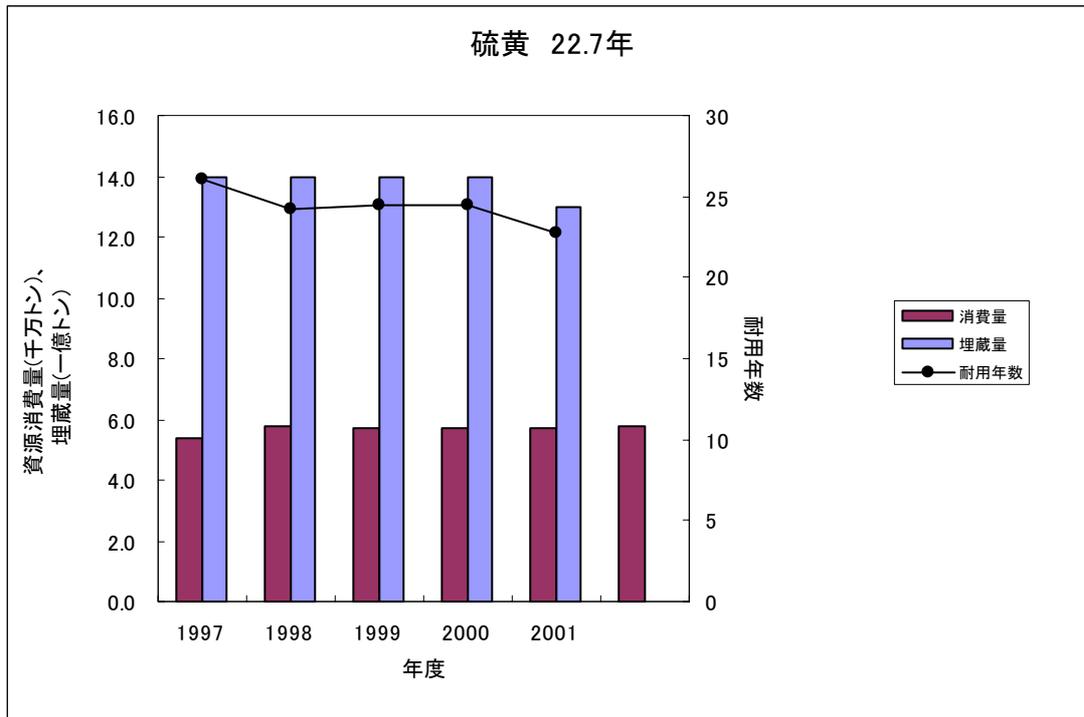
Sodium sulfate				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources
Year				
1995	2,500			
1996	3,200	3,300,000	4,600,000	
1997	3,990	3,300,000	4,600,000	
1998	3,960	3,300,000	4,600,000	
1999		3,300,000	4,600,000	
2000		3,300,000	4,600,000	
2001		3,300,000	4,600,000	
2002				

Sr ストロンチウム



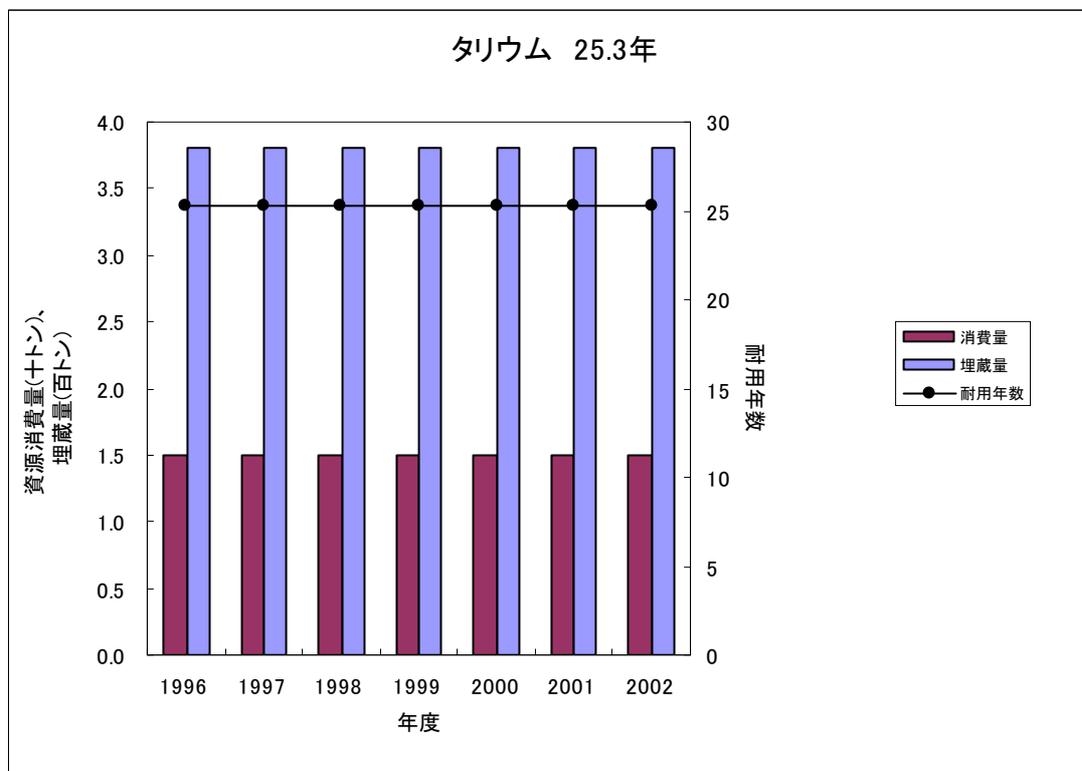
	Strontium			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	170,000			
1996	330,000	6,800,000	12,000,000	1 billion
1997	340,000	6,800,000	12,000,000	
1998	311,000	6,800,000	12,000,000	
1999	304,000	6,800,000	12,000,000	
2000	520,000	6,800,000	12,000,000	
2001	370,000	6,800,000	12,000,000	
2002	360,000	6,800,000	12,000,000	

S 硫黄



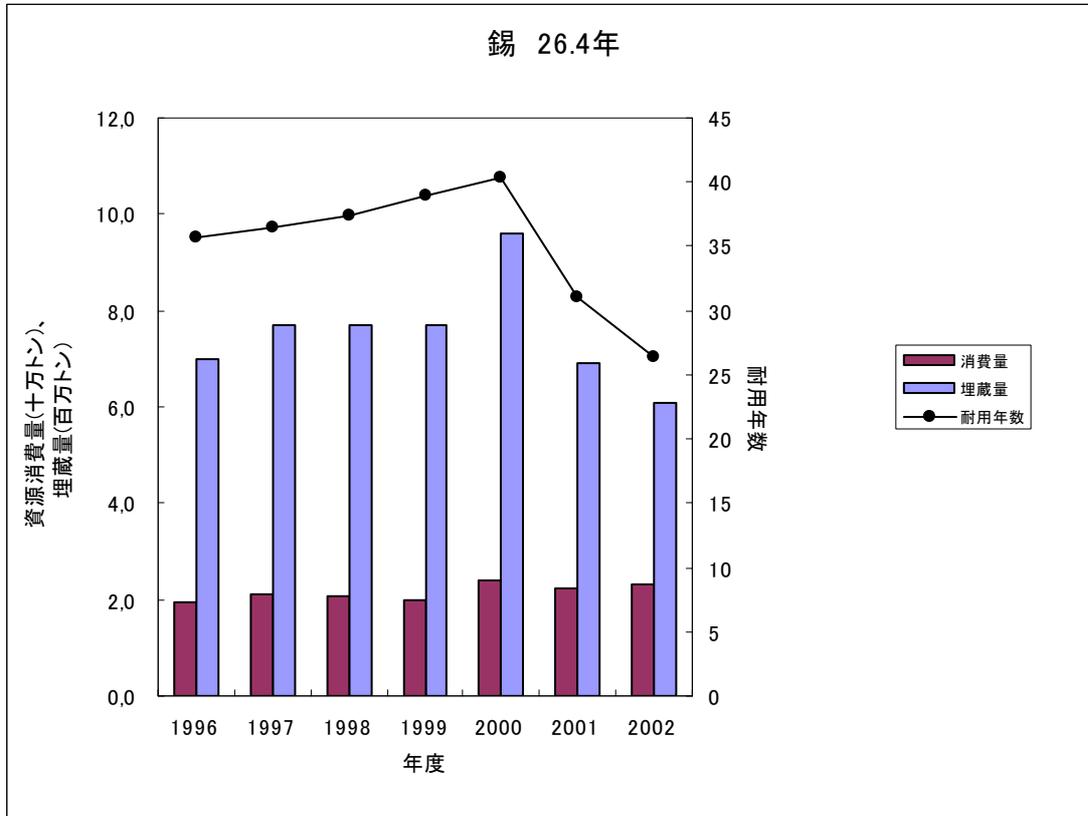
	Sulfur			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	54,300			
1996	52,400			60 billion
1997	53,600	1,400,000	3,500,000	
1998	57,800	1,400,000	3,500,000	
1999	57,100	1,400,000	3,500,000	
2000	57,200	1,400,000	3,500,000	
2001	57,300	1,300,000	3,500,000	
2002	58,000			

TI タリウム



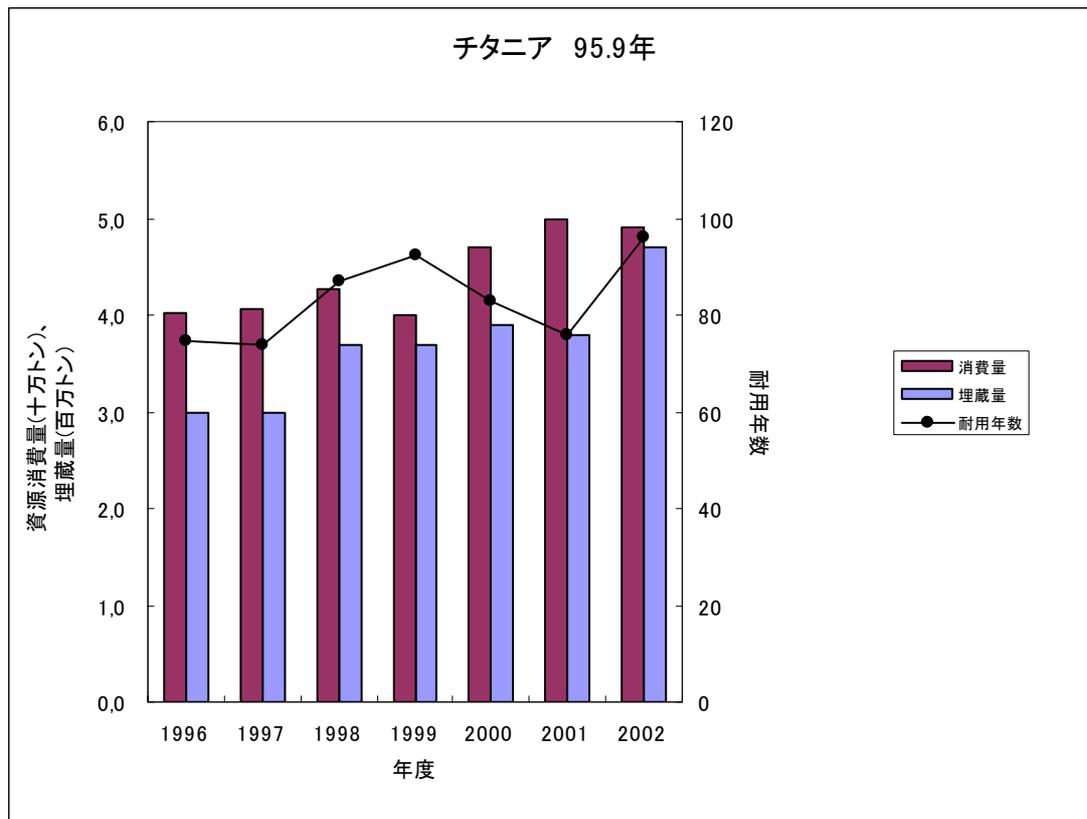
	Thallium			
	Production (kg)	Reserves (kg)	Reserve base (kg)	Resources (kg)
Year				
1995	15,000			
1996	15,000	380,000	650,000	17 million
1997	15,000	380,000	650,000	
1998	15,000	380,000	650,000	
1999	15,000	380,000	650,000	
2000	15,000	380,000	650,000	
2001	15,000	380,000	650,000	
2002	15,000	380,000	650,000	

Sn 錫



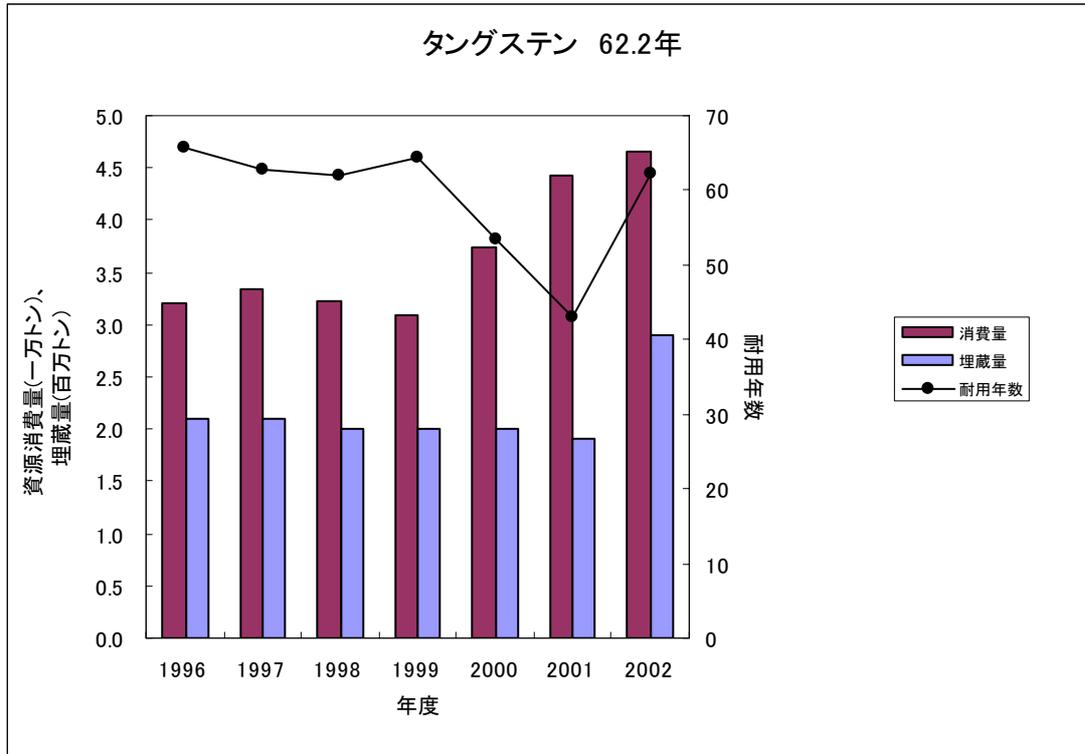
	Tin			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year	Content			
1995	189,000			
1996	196,000	7,000,000	10,000,000	
1997	211,000	7,700,000	12,000,000	
1998	206,000	7,700,000	12,000,000	
1999	198,000	7,700,000	12,000,000	
2000	238,000	9,600,000	12,000,000	
2001	222,000	6,900,000	12,000,000	
2002	231,000	6,100,000	11,000,000	

Ti チタン



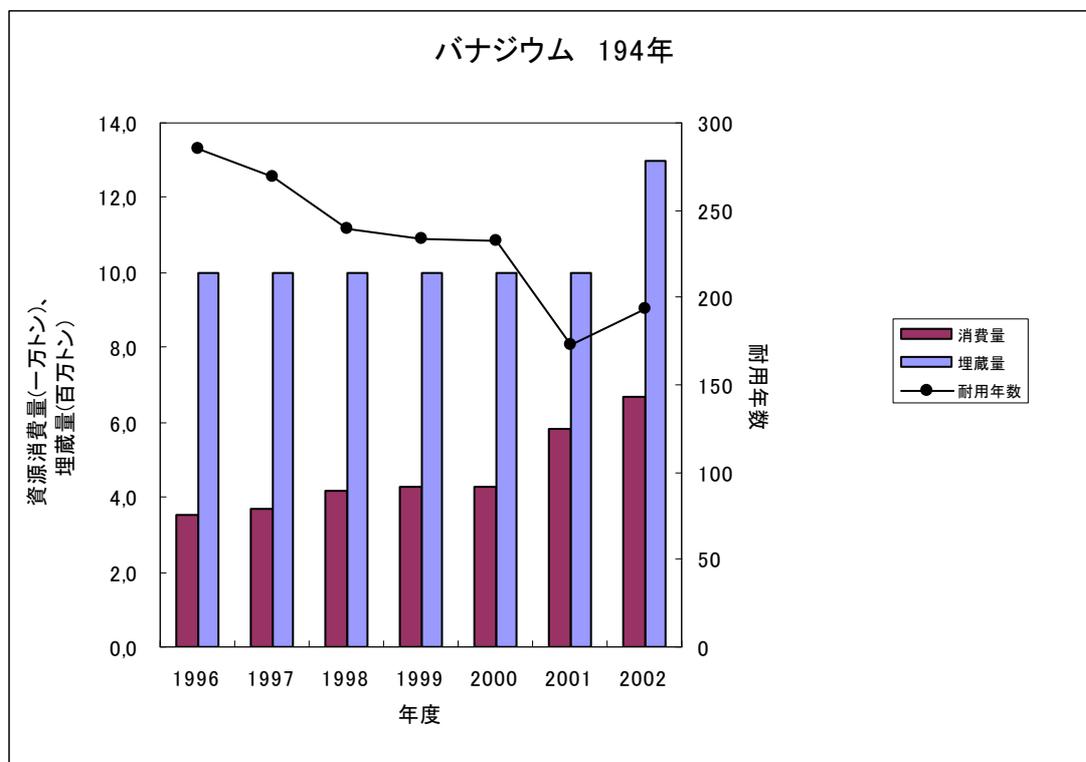
Titanium mineral				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995				
1996				
1997				
1998	4,260			
1999	4,010	370,000	640,000	230 million
2000	4,700	390,000	660,000	
2001	5,000	380,000	540,000	
2002	4,900	470,000	820,000	

W タングステン



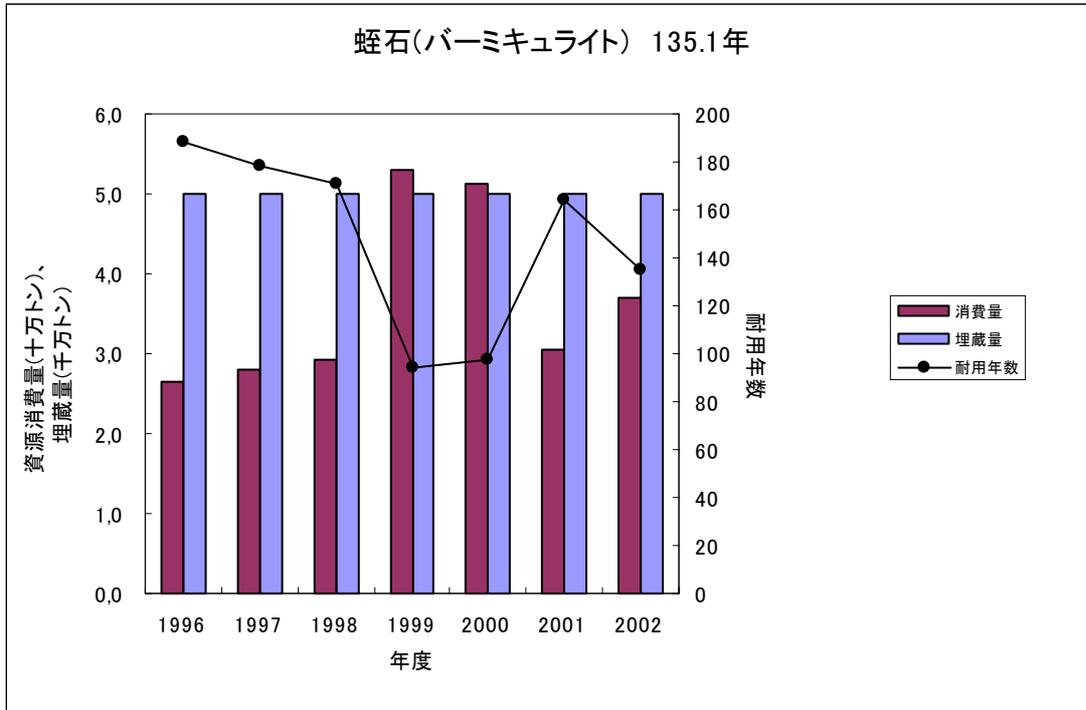
	Tungsten			
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources
Year				
1995	31,000			
1996	32,000	2,100,000	3,300,000	
1997	33,400	2,100,000	3,300,000	
1998	32,200	2,000,000	3,200,000	
1999	31,000	2,000,000	3,200,000	
2000	37,400	2,000,000	3,200,000	
2001	44,200	1,900,000	3,100,000	
2002	46,600	2,900,000	6,200,000	

V ヴァナジウム



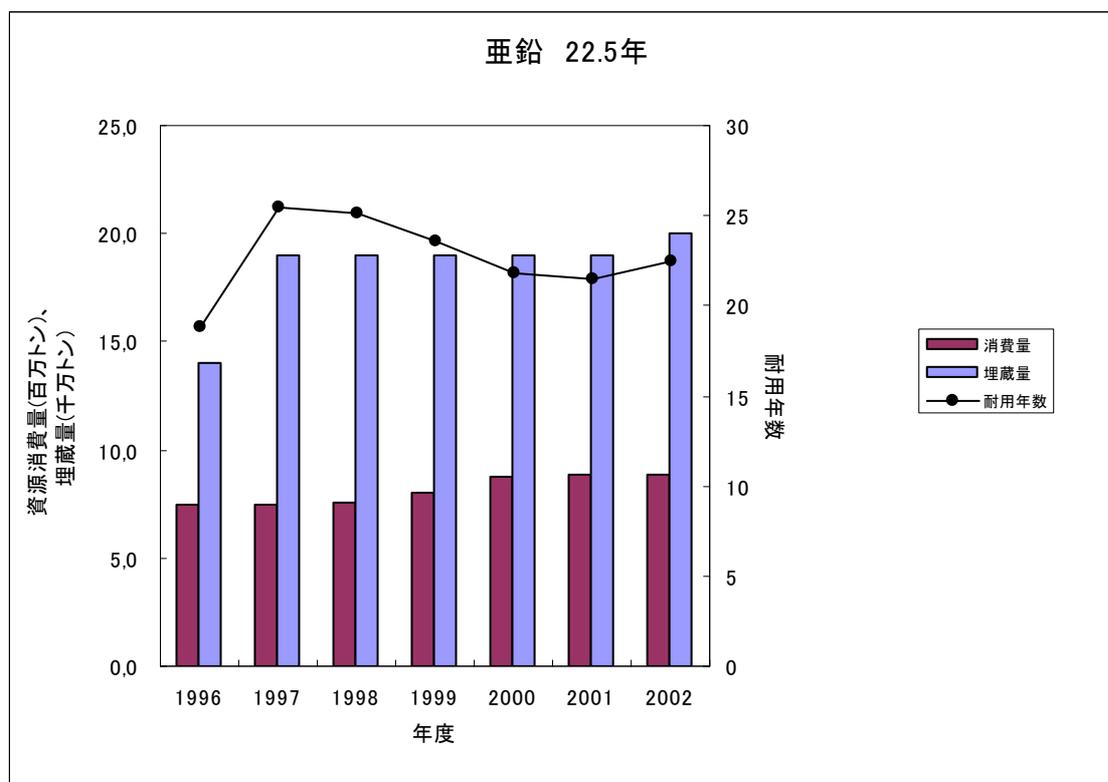
Vanadium				
	Production (t)	Reserves (t)	Reserve base (t)	Resources (t)
Year				
1995	33,700			
1996	35,100	10,000,000	27,000,000	63 million
1997	37,100	10,000,000	27,000,000	
1998	41,800	10,000,000	27,000,000	
1999	42,800	10,000,000	27,000,000	
2000	43,000	10,000,000	27,000,000	
2001	58,000	10,000,000	27,000,000	
2002	67,000	13,000,000	38,000,000	

蛭石



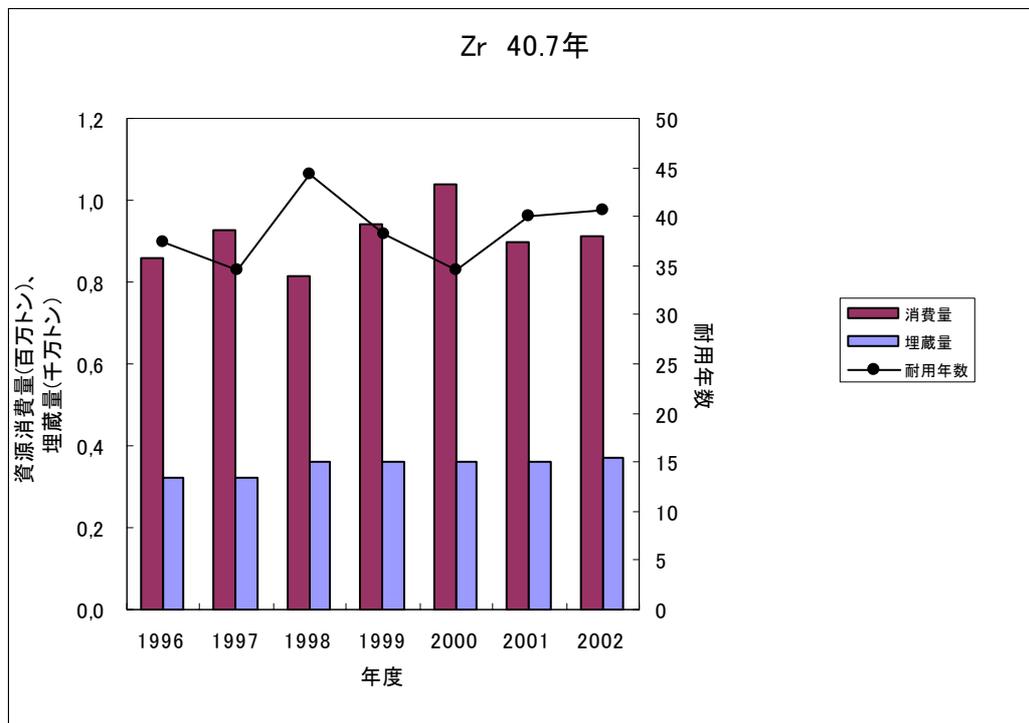
Vermiculite				
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year				
1995	478			
1996	266	50,000	200,000	3 million
1997	280	50,000	200,000	
1998	292	50,000	200,000	
1999	530	50,000	200,000	
2000	512	50,000	200,000	
2001	305	50,000	200,000	
2002	370	50,000	200,000	

Zn 亜鉛



	Zinc			
	Production (1000 t)	Reserves (1000 t)	Reserve base (1000 t)	Resources (t)
Year	Content			
1995	7,120			
1996	7,440	140,000	330,000	1.8 billion
1997	7,460	190,000	430,000	
1998	7,550	190,000	440,000	1.9 billion
1999	8,040	190,000	430,000	
2000	8,730	190,000	430,000	
2001	8,850	190,000	440,000	
2002	8,900	200,000	450,000	

Zr ジルコニウム (ジルコン)



	Zirconium			
	Production (1000 t)	Reserves (1000000 t)	Reserve base (1000000 t)	Resources (t)
Year		ZrO ₂		
1995	897			
1996	857	32	62	60 million
1997	926	32	62	
1998	814	36	65	
1999	940	36	65	
2000	1,040	36	65	
2001	900	36	65	
2002	910	37	72	

4．資源枯渇性の特性値化の方法

4．1．ストック資源の資源枯渇性の特性値化の検討

4．1．1．特性値化の基本的考え方

(1) 単一数値化の原則

LCAの環境影響分析における特性値化は、インベントリー分析で得られたそれぞれの環境ストレス因子の全システムを通じた総和に対して、目的とする環境影響領域に係る特性値化係数を乗じることによって得られる。すなわち、

$$\text{環境ストレス因子}i\text{の環境影響}k\text{に対する特性値 } u_{ki} = c_{ki} \times z_i$$

ここで、 c_{ki} が環境ストレス因子 i の環境影響 k に対する特性値であり、 z_i はインベントリー分析から得られた環境ストレス因子 i のシステム内部の総和である。

さらに、すべての環境ストレス因子を考慮した環境影響 k の特性値は

$$U_k = \sum_i (u_{ki}) = \sum (c_{ki} \times z_i)$$

で得られる。

この単純な形での演算を行うためには、特性値化係数 c_{ki} は以下の条件を満たすことが必要となる。

- a) 特定されること
- b) 加算的に取り扱えること
- c) 線形であること
- d) 閾値を有さないこと

このことは、環境影響項目 k 、環境ストレス因子 i に対して、特定された単一の数値で表されなければならないことを意味している。

(2) 加算性の原則

数値を与える変数には、示強変数と示量変数がある。示強変数とは温度や密度のようにその値同士を足しても何の意味もない数である。示量変数は重さなどのように、それぞれの値を足したものが意味を持つ数である。たとえば、資源消費量は、それぞれを足してもそれなりの意味を持つことができるので示量変数のひとつに上げることが出来るが、資源耐用年数は、20年と50年のものを合わせても70年の耐用年数にはならない。このように、数値を扱う場合には、それが加算可能な示量変数であるか否かをみておかねばならない。

LCAの環境影響分析では、先述のように $U_k = \sum (c_{ki} \times z_i)$ として加算して用いられるため、 $c_{ki} \times z_i$ は加算可能な示量変数であることが条件となる。

(2 - 1) 科学的加算性

科学的加算性は、この $c_{ki} \times z_i$ が容易に示量変数として与えられる場合である。

単純な場合が U_k 自体が z_i の線形結合として表される関係になっている場合である。線形結合とは、

$$U = a_1 \cdot z_1 + a_2 \cdot z_2 + a_3 \cdot z_3 + a_4 \cdot z_4 + \dots$$

のような関係になっている場合であり、このときの $a_1, a_2, a_3, a_4 \dots$ が $c_1, c_2, c_3, c_4 \dots$ に該当する。たとえば、水中排出物の懸濁物質量などはこれに該当する。

現実の環境影響の場合は、このような加算的關係よりも相乗的に

$$U = U_0(1 + a_1 \cdot z_1) \cdot (1 + a_2 \cdot z_2) \cdot (1 + a_3 \cdot z_3) \cdot \dots$$

影響するケースも考えられる。この場合も、 z_i が希薄物の濃度のように 1 よりきわめて小さな値であるならば U の変化

$$U - U_0 = (a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 + \dots) + (a_1 a_2 z_1 z_2 + a_1 a_3 z_1 z_3 + \dots) + \dots$$

となり、 z について二乗以上の項を微小として無視することで、第一項のみが残った線形の加算性が得られる。大気中排出物の環境影響の係数の多くの場合はこれに該当する。

そのような取り扱いが難しく、 U と z の関係が複雑な場合も偏微分の形式を用いることによって近似的な線形の加算的關係を得ることは可能である。

すなわち、

$U = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ のとき

$$U = f_0 + (f / x_1) \cdot dx_1 + (f / x_2) \cdot dx_2 + (f / x_3) \cdot dx_3 + \dots$$

とあらわされる。

ここで dx_i を対象システムをとることによるストレス因子の変化として z_i に対応させ、かつ $c_i = (f / x_i)$ とすることで線形化が可能となる。この方法は、 U が示量変数にとどまらず示強変数の場合にも用いることができる。

先述した資源枯渇性の評価関数

$$\text{評価関数}[1/t] = \frac{(\text{消費速度 [M/t]} - (\text{再生速度 [M/t]})}{(\text{ストック量 [M]})}$$

を U とするならば、次元が時間の逆数であることからしても、これは示強変数であり、科学性を求めるならばこの偏微分的な方法を用いることになる。

(2 - 2) 便宜的加算性

科学性をある程度あいまいにして線形の加算性を確保する方法もある。それは、一般に「重みファクター化」と呼ばれる手法であり、本来独立に存在しているそれぞれの項目 z_i に、何らかの価値基準での「重み係数」 w_i をかけることにより

$$\text{ケース 1} \quad \Sigma(z_i \cdot w_i)$$

$$\text{ケース 2} \quad \Sigma(z'_i \cdot w_i)$$

を比較可能とみなす方法である。

この方法は、LCAにおいては、統合評価でしばしば採られる方法であり、重み係数 w_i が、

重要度

緊急度

コスト

などを反映した因子として与えられる。

この方法は、逆の視点からみれば、被評価項目 z_i に重み係数を与えているのではなく、たとえば重要度という評価関数をおき、その関数の線形関係の変数として z_i を採用しているとみなすこともできる。その場合は、評価関数

$$U = a_1 \cdot z_1 + a_2 \cdot z_2 + a_3 \cdot z_3 + a_4 \cdot z_4 + \dots$$

が、定義者による任意性を持った関数として与えられたものと同等であるとみなせるが、その際、

- 1) 係数の普遍性は科学的なものではなく、何らかの人為的合意に基づくものとなる。
- 2) さらに、評価関数 U 自体を、別の評価関数とともに重み付けすることが困難になる。

という問題を持っている。

(3) エネルギー資源、フロー資源との連続性

また、この報告書では枯渇性の鉱物資源（すなわちストック資源）を対象としているが、エネルギー資源や再生性のフロー資源とも容易に統合的な評価・比較が可能であることも、特性値化の関数設定として必要な要素である。

4.1.2. 重みファクターとしての資源枯渇性の特性値化係数

資源の枯渇性を表すであろう変数を取り上げ、それを重みファクターとして用いる方法がある。それには

- (1) 埋蔵量の逆数を重み係数とする方法
- (2) 耐用年数の逆数を重み係数とする方法
- (3) 埋蔵量の逆数と耐用年数の逆数の積を重み係数とする方法
- (4) 既消費量を用いる方法
- (5) 地殻濃度と現生産量のシェア率の相違を用いる方法

が挙げられる。このなかで、

(1)(2)(3)は、

基本的に埋蔵量と耐用年数のデータによる。これらを一括して下の表に示す。数値は、鉄を基準としており、鉄相当量として特性値を与える係数となる。なお、元素名に*のついているものは、埋蔵量データが最新の USGS のデータベースに与えられていないため他から引用したものである。

元素	単位 t/y	年間生産量	埋蔵量	耐用年数	鉄基準 1/埋蔵量	鉄基準 1/ 耐用年数	鉄基準 1/ (埋蔵量×耐用年数)
Ag	1	18,800	270,000	14.4	259,259.26	8.10	2,101,080.25
As*	1	35,000	800,000	22.9	87,500.00	5.10	445,906.11
Au	1	2,530	42,500	16.8	1,647,058.82	6.95	11,441,176.47
Al	1000	141,000	22,000,000	156	3.18	0.75	2.38
Be*	1	200	19,000	95	3,684,210.53	1.23	4,525,761.77
Bi	1	3,900	330,000	84.6	212,121.21	1.38	292,606.92
Br*	1000	520	15,400	29.6	4,545.45	3.94	17,920.76

	単位 t/y	年間生産量	埋蔵量	耐用年数	鉄基準 1/埋蔵量	鉄基準 1/ 耐用年数	鉄基準 1/ (埋蔵量×耐用年数)
Cd	1	18,700	600,000	32.1	116,666.67	3.64	424,143.30
Co	1	36,900	6,700,000	181.6	10,447.76	0.64	6,713.95
Cr	1000	13,000	1,600,000	123.1	43.75	0.95	41.48
Cu	1000	13,400	480,000	35.8	145.83	3.26	475.38
Fe	1000000	600	70,000	116.7	1.00	1.00	1.00
Ge*	0.001	6,800	500,000	73.5	140,000,000.00	1.59	222,285,714.29
Hg	1	1,400	120,000	85.7	583,333.33	1.36	794,340.72
In	1	335	2,500	7.5	28,000,000.00	15.56	435,680,000.00
Li	1	15,100	4,100,000	271.5	17,073.17	0.43	7,338.63
Mg	1000	2,980	2,100,000	704.7	33.33	0.17	5.52
Mn	1000	7,600	300,000	39.5	233.33	2.95	689.37
Mo	1	128,000	8,600,000	67.2	8,139.53	1.74	14,135.17
Nb	1	25,700	4,400,000	171.2	15,909.09	0.68	10,844.57
Ni	1	1,320,000	61,000,000	46.2	1,147.54	2.53	2,898.66
Pb	1000	2,900	68,000	23.5	1,029.41	4.97	5,112.02
Pts	0.001	171,000	71,000,000	415.2	985,915.49	0.28	277,110.64
REO	1	85,500	88,000,000	1,029.20	795.45	0.11	90.20
Re	0.001	23,100	2,400,000	103.9	29,166,666.67	1.12	32,759,865.26
S	1000	58,000	1,300,000	22.4	53.85	5.21	280.53
Sb	1	141,000	1,800,000	12.8	38,888.89	9.12	354,557.29
Se	1	1,460	84,000	57.5	833,333.33	2.03	1,691,304.35
Sn	1	230,000	6,100,000	26.4	11,475.41	4.42	50,726.53
Sr	1	360,000	6,800,000	18.9	10,294.12	6.17	63,562.09
Ta	1	1,530	39,000	25.5	1,794,871.79	4.58	8,214,177.98
Te	1	130	21,000	161.5	3,333,333.33	0.72	2,408,668.73
Tl	1	15	380	25.3	184,210,526.32	4.61	849,698,356.56
Ti	1000	490	47,000	95.9	1,489.36	1.22	1,812.39
V	1	67,000	13,000,000	194	5,384.62	0.60	3,239.10
W	1	46,600	2,900,000	62.2	24,137.93	1.88	45,287.73
Zn	1000	8,900	200,000	22.5	350.00	5.19	1,815.33
Zr	1000	910	37,000	40.7	1,891.89	2.87	5,424.66

(4)の既資源消費量を用いる方法は、

$$(\text{資源量}) = (\text{既生産量}) + (\text{埋蔵量})$$

ととらえて、

$$\begin{aligned} (\text{資源消費率}) &= (\text{既生産量}) / (\text{資源量}) \\ &= (\text{既生産量}) / [(\text{既生産量}) + (\text{埋蔵量})] \end{aligned}$$

として、その資源消費率の大きさを、資源枯渇の重要度とみなす方式である。

この方式の利点は、

- a) 生産量を累積して考えるために当面の生産量の変化などの微視的要因の影響を受けにくい
- b) 100%が資源枯渇に相当すると考えることもでき、各資源の枯渇度を概念的につかみやすいなどが上げられる。

問題点としては、

- a) 生産量の累積データが必要であり、鉄や銅など歴史上古くから使用されている資源のデータを正確に集めることは難しい。
- b) 「埋蔵量」から未使用資源を計算しており、「埋蔵量」の技術的、経済的な変化により数値が大きく変わる危険性を他の方法と同様に有している。

がある。

87年のデータをもとに計算した一例を示す。

	既生産量 Mt('87)	埋蔵量 MT('87)	資源消費率	鉄基準
Fe	16113	66100	0.196	1.00
Al	380	4250	0.082	0.42
Cr	79.1	418	0.159	0.81
Cu	247	352	0.412	2.10
Zn	204	147	0.581	2.97
Mn	268	812	0.248	1.27
Pb	124.7	70	0.640	3.27
Ni	22	48.6	0.312	1.59
Sr	2.68	7	0.277	1.41
Mg	90.1	2500	0.035	0.18
Sn	9.92	4.28	0.699	3.56
Ag	0.401	0.28	0.589	3.00

Sb	2.7	4.2	0.391	2.00
Mo	2.74	5.53	0.331	1.69
Ti	51.2	170	0.231	1.18
U	0.32	0.83	0.278	1.42
V	0.716	4.27	0.144	0.73
Co	0.996	3.31	0.231	1.18
W	1.85	2.57	0.419	2.14
Nb	0.27	3.55	0.071	0.36
Bi	0.141	0.09	0.610	3.11
Zr	7.26	26.6	0.214	1.09
Li	0.84	2.21	0.275	1.41
Au	0.059	0.042	0.584	2.98
Hg	0.27	0.126	0.682	3.48
Ta	22	0.022	0.999	5.10
Be	0.005	0.013	0.278	1.42
Pt	0.005	0.056	0.082	0.42
Th	0.38	1	0.275	1.40

(5)の地殻濃度と現生産量のシェア率の相違を用いる方法は

埋蔵量の技術的、経済的な可変性を回避した資源枯渇度の重要性の表現に、地殻濃度と現生産量のシェア率の相違を見る方法である。

これは、ある元素に対して、現在の年間生産量の中で占めている割合をもとめ、地殻存在度の中での割合との比をとる方式である。

この値は、地殻存在度に対して、現在の生産がどのくらい濃縮して使用しているかを示す数字となり、この比が大きいほど、地殻に存在している本来の資源量に対して圧迫をかけていることを意味している。

この方式のメリットは、

- a) 生産量、地殻濃度という客観性のある数字をもとに計算できること
 - b) 地球環境と人間の資源使用のバランスの違いが数値的にわかること
- であるが、

問題点として

- a) 直接資源枯渇と結びつくものではないこと
- b) 資源的には乏しくとも現在利用されていないものは小さな値となり、新規用途が急速に伸びるようなものの評価では誤った傾向を与える危険がある

などが上げられる。

以下に、(生産シェア) / (地殻存在度シェア) の値を示しておく。

	年間生産量 [t/y]	生産シェア (× 1000000)	地殻存在度 ppm	地殻存在度 シェア (× 1000000)	生産シェア/ 地殻存在度シェア	鉄基準
Fe	571,000,000.00	883674.322	50000.000	114669.759	7.706	1.000
Al	23,900,000.00	36987.419	81300.000	186453.028	0.198	0.026
Cr	13,700,000.00	21201.993	100.000	229.340	92.448	11.996
Cu	12,900,000.00	19963.921	55.000	126.137	158.272	20.538
Zn	8,000,000.00	12380.726	70.000	160.538	77.120	10.008
Mn	7,450,000.00	11529.551	950.000	2178.725	5.292	0.687
Si	3,400,000.00	5261.809	277200.000	635729.145	0.008	0.001
Pb	2,980,000.00	4611.820	13.000	29.814	154.686	20.073
Ni	1,230,000.00	1903.537	75.000	172.005	11.067	1.436
Sr	304,000.00	470.468	375.000	860.023	0.547	0.071
Mg	284,000.00	439.516	20900.000	47931.959	0.009	0.001
Sn	200,000.00	309.518	2.000	4.587	67.480	8.757
Ag	160,000.00	247.615	0.070	0.161	1542.408	200.150
Sb	121,000.00	187.258	0.200	0.459	408.256	52.977
Mo	112,000.00	173.330	1.500	3.440	50.385	6.538
Ti	51,000.00	78.927	4400.000	10090.939	0.008	0.001
U	45,807.00	70.890	1.800	4.128	17.173	2.228
V	42,000.00	64.999	135.000	309.608	0.210	0.027
As	40,000.00	61.904	1.800	4.128	14.996	1.946
Ce	35,014.00	54.187	60.000	137.604	0.394	0.051
Co	32,300.00	49.987	25.000	57.335	0.872	0.113
W	31,500.00	48.749	1.500	3.440	14.171	1.839
Nb	23,600.00	36.523	20.000	45.868	0.796	0.103
Cd	19,300.00	29.869	0.200	0.459	65.119	8.450
La	18,860.00	29.188	30.000	68.802	0.424	0.055
Bi	17,900.00	27.702	0.200	0.459	60.395	7.837
Zr	14,250.00	22.053	165.000	378.410	0.058	0.008
Nd	13,940.00	21.573	28.000	64.215	0.336	0.044

Li	13,000.00	20.119	20.000	45.868	0.439	0.057
B	4,270.00	6.608	2.800	6.422	1.029	0.134
Pr	3,362.00	5.203	8.200	18.806	0.277	0.036
Sm	2,460.00	3.807	6.000	13.760	0.277	0.036
Au	2,445.00	3.784	0.004	0.009	412.474	53.525
Y	2,400.00	3.714	33.000	75.682	0.049	0.006
Yb	1,958.00	3.030	3.000	6.880	0.440	0.057
Hg	1,800.00	2.786	0.080	0.183	15.183	1.970
Gd	1,640.00	2.538	5.400	12.384	0.205	0.027
Se	1,400.00	2.167	0.050	0.115	18.894	2.452
Dy	656	1.015	4.800	11.008	0.092	0.012
Tb	574	0.888	0.800	1.835	0.484	0.063
Br	520	0.805	2.500	5.733	0.140	0.018
Ta	513	0.794	2.000	4.587	0.173	0.022
Be	356	0.551	2.800	6.422	0.086	0.011
Er	246	0.381	2.800	6.422	0.059	0.008
In	220	0.340	0.100	0.229	1.485	0.193
Ga	210	0.325	15.000	34.401	0.009	0.001
Pt	178	0.275	0.010	0.023	12.011	1.559
Pd	177	0.274	0.010	0.023	11.944	1.550
Te	125	0.193	0.010	0.023	8.435	1.095
Hf	123.5	0.191	3.000	6.880	0.028	0.004
Lu	114.8	0.178	0.500	1.147	0.155	0.020
Ho	98.4	0.152	1.200	2.752	0.055	0.007
Eu	82	0.127	1.200	2.752	0.046	0.006
Tm	65.6	0.102	0.500	1.147	0.089	0.011
Ge	58	0.090	1.500	3.440	0.026	0.003
Th	45	0.070	7.200	16.512	0.004	0.001
Re	43	0.067	0.001	0.002	29.017	3.765
Rh	23.96	0.037	0.005	0.011	3.234	0.420
Ru	19.99	0.031	0.010	0.023	1.349	0.175
Ir	3.18	0.005	0.001	0.002	2.146	0.278
Os	0.06	0.000	0.001	0.002	0.040	0.005

4.1.3. 科学的特性値化のための資源枯渇性の特性値化係数

科学的に特性値化係数を定めるには、評価関数から出発することが必要である。

資源枯渇の評価関数は

$$\text{評価関数}[1/t] = \frac{(\text{消費速度 [M/t]}) - (\text{再生速度 [M/t]})}{(\text{ストック量 [M]})}$$

であるとみなしてよからう。特にこれは、フロー資源、ストック資源ともに共通に使用できる評価関数であることも、この関数の優れている点である。

この評価関数は、時間の逆数であることから、以降、「資源枯渇速度:V」と呼ぶことにする。

ここで、資源 i を z_i だけ消費した場合に、資源枯渇速度Vがどれだけ加速されるか考える。すなわち、

D_i : 資源 i の消費速度 [ton/year]

R_i : 資源 i のストック量 [ton]

とすると、Vの変化

$$V = \frac{D_i + z_i}{R_i - n \cdot z_i} - \frac{D_i}{R_i}$$

である。

なお n は対象となる期間[year]である。

ここで

$$\frac{D_i + z_i}{R_i - n \cdot z_i} - \frac{D_i}{R_i} = \frac{z_i \cdot (R_i + n \cdot D_i)}{R_i \cdot (R_i + n \cdot z_i)}$$

上辺、下辺を R_i で割り、 $R_i \gg n \cdot z_i$ の関係から 下辺の第二項を無視すると、

$$\frac{z_i}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n \cdot D_i}{R_i} \right)$$

となる。

ここで

$$R_i / D_i = \text{資源の耐用年数: } i \text{ [year]}$$

を用いて、

$$= \frac{z_i}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i} \right)$$

と表される。すなわち

$$c_i = \frac{K}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i} \right)$$

を、 z_i に対する係数 c_i として用いるのが、科学的に妥当である。この値は、資源枯渇速度をどのくらい速めるかという数値であるから、「資源枯渇加速度」と呼ぶのが妥当であろう。なお、 K は桁数をそろえるなど数値をわかりやすく使うために与える i によらない定数である。

ここで、 n は技術の適用期間である。基本的には n は対象となる製品の生産計画に依存するが、係数として用いるためには i によらない一定の値を与えておく必要がある。ここでLCAの目的が持続可能な生産のための環境影響の評価であることを考慮すると、この期間にはある程度の長さが必要であると考えられる。そこで、ここでは、持続可能性を議論するうえで当面意識に上る範囲の100年と設定した。

このとき、鉄をはじめとする枯渇性の低い資源の耐用年数は100年を超えており、 $n=100$ の設定においてもこれらの資源では第一項が支配項となることから妥当であると判断できる。

なお、ここまで見てきた計算は、数学的に言うならば、 V の z_i に対する偏微分をとったことに相当している。すなわち、

$$\frac{\partial V}{\partial z_i} = \frac{1}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i} \right)$$

であり、4.1.1.で先述の(2-1)の偏微分による示強変数の線形化をおこなったことになっている。

この資源枯渇加速度

$$c_i = \frac{K}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i} \right)$$

を特性値化係数として用いるには、さらに、特性値化された数字を使いやすくするための定数 K を定めておく必要がある。

もちろん K=1 でも本質的には問題はなく、その場合の $c_i \cdot z_i$ は新たな年間のi資源の消費を z_i だけ増やしてn年間使い続けることで、資源枯渇速度の増す割合を意味していることになる。

このK=1 の場合は、一見意味があるようで実態的なイメージがつかみにくい変数である。そこで、他の特性値化にみられるような等量表示を行うとよい。等量表示とは、地球温暖化係数においてCO₂当たりの量で他の成分を特性値化するように、ある特定の成分を基準として、その相当量として他の成分の量を与える方法である。

資源の枯渇の評価の場合は、近代の生産を代表し、量的にも大きく、かつ資源の埋蔵量などのデータもそろっている鉄を基準として考えるのが妥当であろう。

すなわち、資源枯渇の特性値化は「鉄何トン相当の資源使用に匹敵する資源枯渇加速度」として表わされる。

ここで、

$$c_{Fe} = \frac{1}{R_{Fe}} \cdot \left(1 + \frac{n}{Fe} \right)$$

とすると

資源iを使用した資源枯渇の特性値化係数C_iは

$$C_i = \frac{1}{c_{Fe} \cdot R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i} \right)$$

つまり

$$C_i = \frac{R_{Fe}}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{n}{i}\right) / \left(1 + \frac{n}{Fe}\right)$$

となる。

4.1.4. 特性値化係数表

この C_i を得るためには、 R_{Fe}/R_i 、 i 、 Fe が必要である。 R_{Fe}/R_i は資源のストック量の比であり、耐用年数 λ はUGSGのデータから得ることができるが、この耐用年数も埋蔵量のデータの質などにより影響を受ける。ただし埋蔵量データにあいまい性の多いものは耐用年数の大きい資源に限られ、耐用年数の短い資源に関しては経済的理由もあり比較的厳格に調査がされている。この特性値化において耐用年数が用いられるのは、 $1/\lambda$ の形であり、耐用年数が長く、あいまい性の大きいデータほど、特性値化への影響は小さくなる。

特に、海水からの利用など埋蔵量が特定できないような資源は

$$\left(1 + \frac{n}{i}\right)$$

を近似的に1とみなせるため、レアアースや白金族などのデータの的に限定された資源に対しても C_i を与えることができる。

そこで、

- a) 基本的にストック量としては、人間の経済活動の範囲の中での利用可能な資源量として埋蔵量をとる。
- b) i 資源の埋蔵量が不確定の場合に近似的に C_i を求める場合に、 R_i, R_{Fe} をストック量として扱う。
- c) a)の埋蔵量が得られた場合でも、b)の指標が小さい場合に限り、探索の余地があるものとしてb)の値を採用する。

という方向で、数値を算定した。

次ページ以下に、各種金属資源の資源枯渇加速度の特性値化係数を示す。

4.1.5. 関与物質総量の補正

前回の『「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数』において関与物質総量は、2001年に金属学会報に報告した「鉱石の関与物質総量」の数値をそのまま用いていた。この鉱石の関与物質総量は、あくまで原料としての鉱石に含まれる金属成分あたりの関与物質総量であり、主として採掘時の剥土や脈石の量に相当し、成分を抽出するために投入される物質やエネルギー資源にかかわるものは算定の対象外となっていた。

そこで、今回は、金属の場合、次の工程に対して汎用性のあるインゴットの形態で関与物質総量をそろえることとし、資源採取、選鉱以降の製錬・抽出プロセスにおけるエネルギー資源投入も加えた関与物質総量の値を与えることとした。

また、以前の鉱石の関与物質総量では、金属鉱物に良く見られる並存物質、たとえば銅精錬における銀や金などの副産物に対して配慮を行わず、単一鉱としての品位で算定していたが、現実の鉱山では一つの鉱石から多数の金属成分が抽出されるケースも多いために、新規算定においては複数の成分が並存するケースにも配慮した。

そのために、LCAでは按分（アロケーション）と呼ばれる手法を採用し、最終的に得られるインゴットの価格によって按分を行う経済アロケーションを採用している。なお、この手法はJISの鉱山の鉱量算定の手法とも一致するものである。

プロセスの順序にもとづき、按分について先に述べる。

先の「鉱石の関与物質総量の算定」では、3段階の精度で鉱石の関与物質総量を算定している。それは、

第一レベル: 実操業統計データに基づくもの

実操業における剥土、廃土等を含む全採掘量のデータと最終出荷鉱石中の成分量データを、各鉱山ごとに統計処理することによって得られた関与物質総量

第二レベル: 実操業統計データに基づくもの

各鉱山ごとの品位データに基づき、第一レベルの結果をもとに剥土比を3と仮定して得られた関与物質総量

第三レベル: 実操業統計データに基づくもの

粗鉱の品位を地殻存在度から推定することによって得られた関与物質総量であるが、按分の対象としたものは、第一レベルと第二レベルであり、鉱山ごとに剥土、廃土を含む全採掘量を成分に対して按分を行い、全採掘量を成分ごとに割り振り、あたかもそれぞれの成分に対する個別の単一鉱山が存在するかのように扱った。

ある鉱山 j の全採掘量を W_j 、その鉱山での i 成分の成分あたりの産出量を $y_{i,j}$ 、 i 成分の価格を p_i とすると、按分された採掘量 $w_{i,j}$ は

$$w_{i,j} = \frac{W_j * y_{i,j} * p_i}{\Sigma(y_{i,j} * p_i)}$$

となる。なお、この式から明らかなように

$$W_j = \Sigma W_{i,j}$$

であり、採掘量はいずれかの成分に割り当てられたことになる。

エネルギー資源の投入に基づく関与物質総量の加算にあたっては、上記の鉱石の関与物質総量の計算自体が統計処理に基づく概算的な性格を有するものであることから、プロセスごとの精査は行わず、全体的な把握が可能なような概算的なものを与えることとした。

そのため、本来は、各プロセスごとに異なるエネルギー源が用いられているが、ここでは、そのエネルギー源の相違は敢て無視して、製錬・抽出プロセスごとのエネルギー原単位を求め、その原単位に対して、世界平均の一次エネルギー消費の比率による単位エネルギー消費あたりの資源投入をかけて、エネルギー投入の関与物質総量とした。

各成分の製錬・抽出プロセスごとのエネルギー原単位は、

レベル A LCA のインベントリーデータの整備などで得られているもの

未踏科学技術協会のデータにもとづく Fe,Cu,Pb,Zn,Al

レベル A' 主としてフェロアロイとして用いられ、LCA のインベントリーデータの整備などで得られているもの

未踏科学技術協会のデータにもとづく Cr,Ni,Co,Mn,Si,V,Nb,Mo,W のフェロアロイ製錬データから

レベル B 文献データを整理して得られたもの

物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター調査「金属元素の製錬段階での環境負荷算定」による

Li,Mg,Ca,Ti,Ag,Cd,In,Sn,Sb,Ta,Au

レベル C 製錬・抽出にかかわるエネルギー投入が不明のため、熱力学データから推算したものの 4 段階がある。

なおレベル C では、レベル A から B までの原単位データを、理論値（主要化合物から金属を還元するための標準生成自由エネルギー変化+抽出金属を溶融温度に保持・溶解するための

エンタルピー)に対してプロットし、実際に必要とされているエネルギー投入が理論エネルギーの10倍から100倍であることから、最低限理論量の10倍のエネルギー投入が必要になるとして見積もった。

以上で得られた数値を、資源枯渇係数、および、鉄を1とした場合の関与物質総量と資源枯渇係数の幾何平均として以下に与えた。

	TMR	資源枯渇係数	幾何平均(Fe:1)		TMR	資源枯渇係数	幾何平均(Fe:1)		
3	Li	1,500	1,800	580	52	Te	270,000	2,900,000	300,000
4	Be	2,500	21,000	2,600	57	La	3,100	470	420
5	B	140	9,600	400	58	Ce	2,000	450	330
11	Na	50			59	Pr	8,000	3,300	1,800
12	Mg	70	1.5	3.6	60	Nd	3,000	1,000	600
13	Al	48	0.37	1.5	62	Sm	9,000	4,500	2,200
14	Si	34	0.10	0.6	63	Eu	20,000	22,000	7,400
20	Ca	90			64	Gd	10,000	5,000	2,500
21	Sc	2,000			65	Tb	30,000	34,000	11,000
22	Ti	36	12	7.4	66	Dy	9,000	6,500	2,500
23	V	1,500	300	240	67	Ho	25,000	22,000	8,300
24	Cr	26	43	12	68	Er	12,000	9,600	3,800
25	Mn	14	100	13	69	Tm	40,000	54,000	16,000
26	Fe	8	1	1	70	Yb	12,000	9,000	3,600
27	Co	600	1,600	350	71	Lu	45,000	54,000	17,000
28	Ni	260	1,100	190	72	Hf	10,000	9,000	3,300
29	Cu	360	300	110	73	Ta	6,800	66,000	7,400
30	Zn	36	1,000	67	74	W	190	34,000	890
31	Ga	14,000	1,800	1,800	75	Re	20,000	30,000,000	270,000
32	Ge	120,000	18,000	16,000	76	Os	540,000	27,000,000	1,300,000
33	As	29	15,000	230	77	Ir	400,000	27,000,000	1,100,000
34	Se	70	1,200,000	3,200	78	Pt	520,000	660,000	210,000
35	Br2	9,400	10,000	3,500	79	Au	1,100,000	6,200,000	920,000
37	Rb	133			80	Hg	2,000	680,000	13,000
38	Sr	500	450	170	82	Pb	28	2,900	100
39	Y	2,700	1,200	630	83	Bi	180	250,000	2,300
40	Zr	550	560	190	88	Ra	280,000,000		
41	Nb	640	2,100	400	90	Th	9,000	3,700	2,000
42	Mo	750	11,000	1,000	92	U	22,000	32,000	9,300
44	Ru	80,000	2,700,000	160,000	coal	12	0.04	0.2	
45	Rh	2,300,000	5,400,000	1,200,000	oil	7.4	0.8	0.9	
46	Pd	810,000	2,700,000	520,000	碎石	1.4			
47	Ag	4,800	1,100,000	25,000	骨材	1.4			
48	Cd	7	260,000	450	plastic	10	0.8	1.0	
49	In	4,500	3,900,000	46,000	木材	8.0	0.24	0.5	
50	Sn	81	30,000	540	cement	3.2			
51	Sb	42	180,000	970	穀物	330	19	27	

	TMR	資源枯渇係数	換算平均(Fe:1)		TMR	資源枯渇係数	換算平均(Fe:1)
Li	1,500	1,800	300	Li	270,000	2,300,000	300,000
Ba	2,000	21,000	2,800	La	3,100	4,100	400
B	140	8,600	400	Ce	2,000	2,100	330
Na	50			Pr	8,000	3,300	1,800
Mg	70	1.5	3.5	Nd	3,000	1,000	800
Al	48	0.37	1.5	Sm	2,000	4,800	2,800
Ca	34	0.19	0.6	Eu	20,000	21,000	1,400
Sc	80			Gd	10,000	5,600	2,500
Ti	2,000			Tb	30,000	34,000	11,000
V	30	12	7.4	Dy	3,000	4,500	2,500
Cr	1,800	300	240	Hf	25,000	22,000	8,300
Mn	20	43	12	Er	12,000	9,600	3,800
Fe	14	100	13	Tm	40,000	54,000	19,000
Cu	8	1	1	Yb	12,000	9,000	3,600
Zn	600	1,600	200	Lu	45,000	34,000	17,000
Ni	260	1,100	190	Hg	10,000	9,000	3,300
Co	380	300	110	Ta	6,800	65,000	7,400
Nb	58	1,000	43	W	100	24,000	400
Mo	14,000	1,800	1,800	Ru	20,000	30,000,000	270,000
Ag	120,000	18,000	18,000	Cd	540,000	27,000,000	1,300,000
Au	70	15,000	230	Pt	400,000	37,000,000	1,100,000
Sr	133	1,200,000	3,300	Pd	520,000	4,600,000	210,000
Rb	8,400	10,000	3,300	Au	1,100,000	6,200,000	920,000
Ba2	133			Hg	3,000	4,600,000	13,000
Sr	800	450	170	Pb	28	2,800	100
Y	2,700	1,200	630	Bi	100	200,000	2,300
Zr	500	500	100	Ra	280,000,000		
Nb	640	2,100	400	Th	8,000	3,700	2,000
Mo	700	11,000	1,000	U	22,000	32,000	9,800
Ru	80,000	2,700,000	160,000	coal	72	0.04	0.1
Rh	2,300,000	5,400,000	1,200,000	oil	7.7	0.8	0.9
Pd	910,000	2,300,000	420,000	鉄石	1.4		
Ag	4,800	1,100,000	25,000	貴石	1.4		
Cd	7	200,000	450	plastic	1.0	0.8	1.0
Zn	4,000	3,000,000	46,000	木材	3.2	0.09	0.8
Sn	81	30,000	840	cement	3.2		
Sb	42	180,000	970	穀物	330	1.0	27

鉱山統計データと
実操業のエネル
ギーデータ

実鉱山鉱石品位と
文献のエネルギ
ーデータ

地殻存在度からの
品位予測と文献の
エネルギーデータ

ストックを地殻存在量で
(埋蔵量データなし)

ストックを地殻存在量で
(埋蔵量での計算より小さい値)

ストックを埋蔵量で
(地殻存在量での
計算より小さい値)

地殻存在度からの
品位予測と熱力学
のエネルギー予測

ストックを資源量、
再生速度を考慮
(穀物は資源量
=消費速度
=再生速度)

5. 資源指標としての取り扱いについて

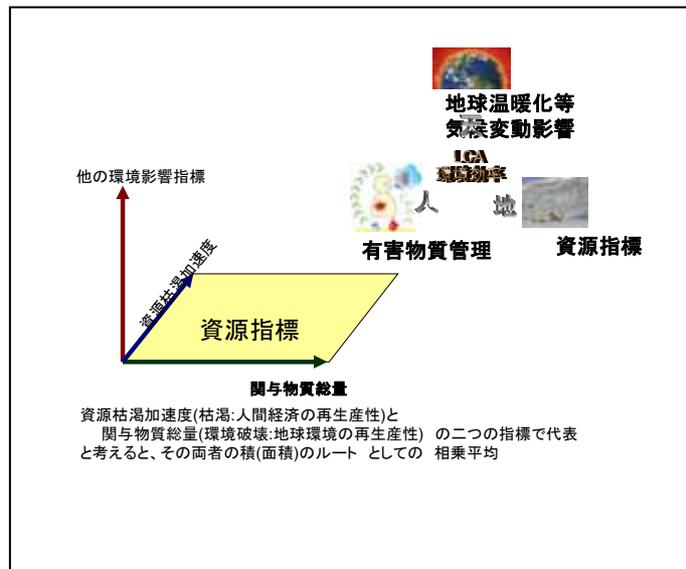
LCAや環境効率の算定において、環境負荷カテゴリーをどのようにとらえるかは、環境負荷評価を行う主体の環境認識を反映する重要な課題である。特にわが国では、データの入手や計算のしやすさからCO₂に代表される地球温暖化影響が評価関数としてよく用いられる。しかし、循環型社会の創出や物質・資源の有効利用など環境にかかわる問題は地球温暖化だけではない。少なくとも、

天: 地球温暖化等の気候変動

地: 資源指標

人: 化学物質管理、健康・生体影響
 の3つの視点が、LCA や環境効率の議論でこれからは求められるようになるであろう。

その観点からすると、資源指標も、地球環境の再生産基盤への影響指標である関与物質総量と人間経済の再生産基盤への影響である資源枯渇加速度が資源指標として単一に表現されることが好ましい。



この両者の指標は基本的には資源の希少性に依存するものの、地球環境と人間経済という持続可能社会へむけたそれぞれの異なる要素への影響であることから、別個の軸へのベクトルと考えられる。この二つのベクトルの全体的な影響の大きさは、その積である面積で代表される。さらにその平方根をとって幾何平均とすることで、これらが資源の希少性という共通の性格の個別の反映をひとつの軸として投影したものとみなすことができる。

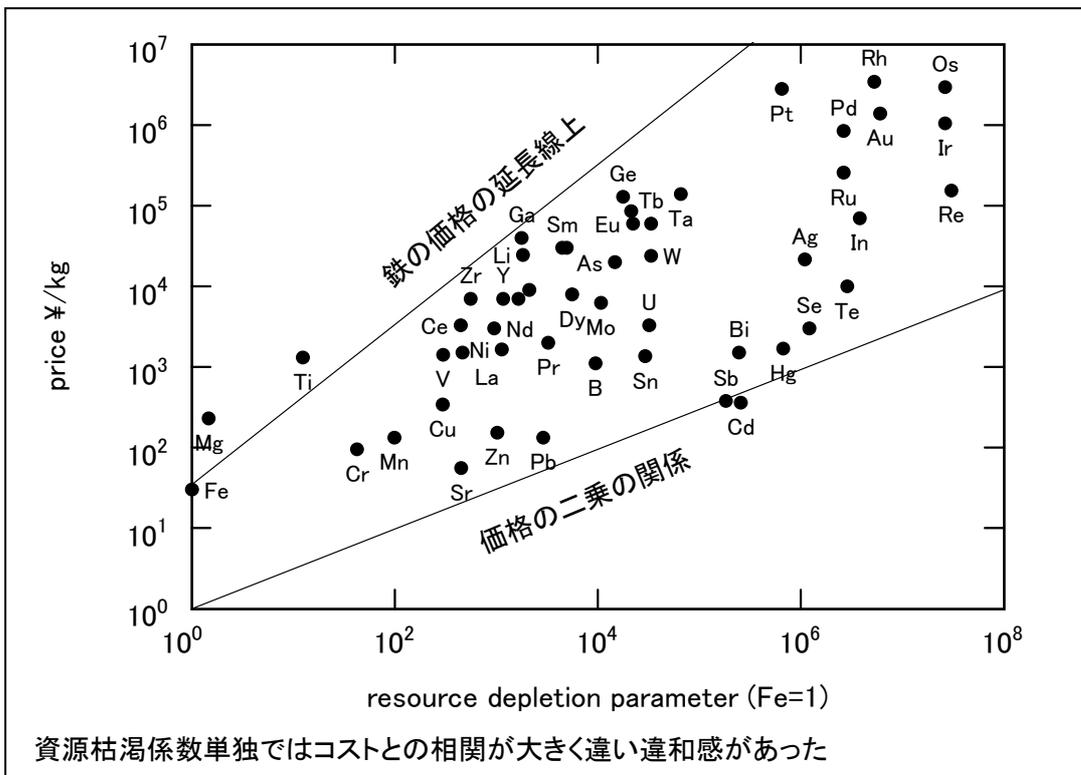
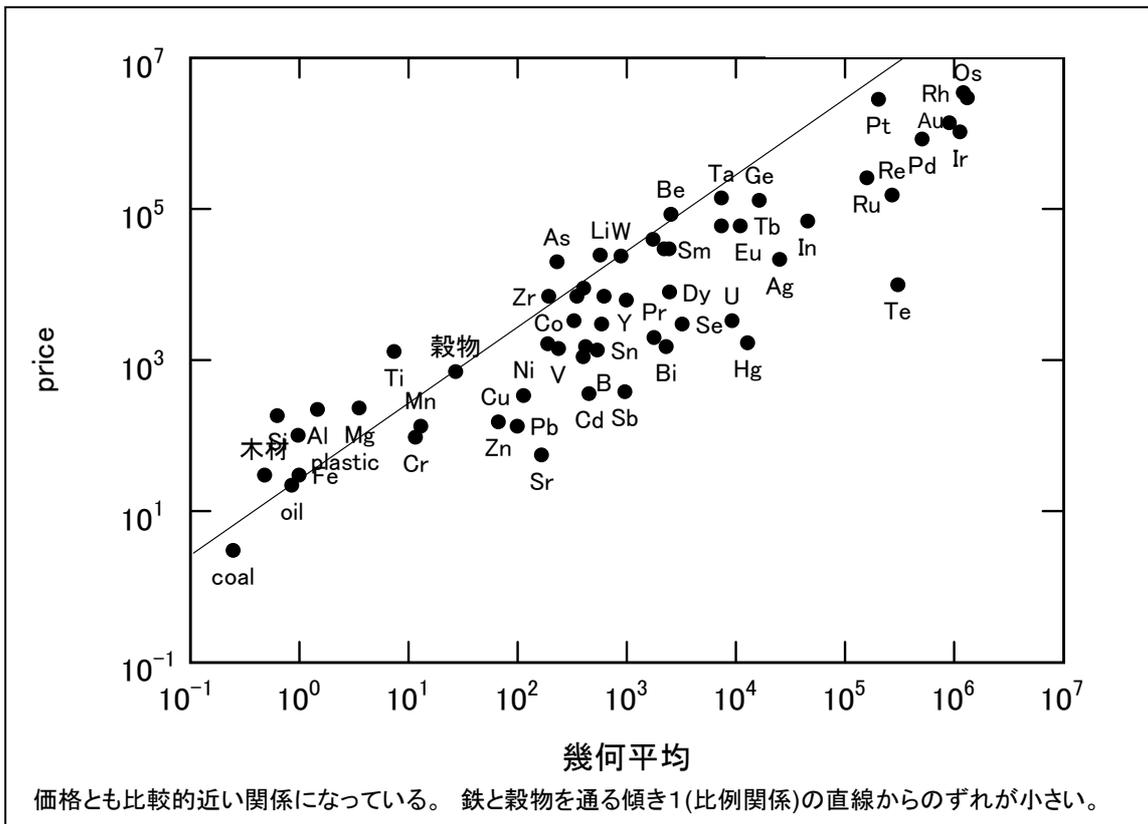
この単一化の方法は一つの考え方であり、これから議論が必要であろうが、単純な取り扱いでできるところが魅力である。

この指標は資源の利用にかかわる環境負荷因子であるとともに、それまでの環境負荷を与えてまで人類がその資源を必要としているという資源の貴重さの指標でもある。

そのために、実際にこの資源指標を用いて物質の管理を行う際に、コストとの関係が意識される。そこで、この指標とコストの関係をプロットしたものが次ページの上図である。

参考のためにプロットした穀物と鉄を結ぶ直線がほぼ傾き 1 すなわち、コストと並行した関係になっており、多くの金属元素は、それから若干下(資源指標よりコストが安い)の方向にずれているものの、ある程度コストも反映したものになっている。

なお、資源枯渇加速度をコストに対してプロットすると、資源枯渇加速度の値の大きい部分で資源枯渇加速度がコストの二乗で大きくなってきており、実態感とはかなりの相違があるものと思われる。



この資源指標は、環境負荷のひとつの因子であると同時に、資源の貴重さを示す指標でもあり、資源生産性を議論し、資源生産性の高い製品の開発や循環システムの管理に使いやすい指標である必要がある。

実際に製品などでの管理を行う場合に、どの程度まで量的把握が必要かということが目安となる。そのために、これらの指標を有効数字一桁程度の数値に簡略化し、さらに、同程度の数値レベルのものをグループ分けして、管理対象となるレベルを明確化することにした。

こうしてまとめたものが次の表である。括弧の中の数値は製品中に含まれる管理レベルを提案している。

金組(0.01mg/kg)		銀組(1mg/kg)		錫組(10mg/kg)		銅組(0.1g/kg)		鉄組(1g/kg)	
Os	1000000	Te	300000	Er	3000	Cd	400	Mn	13
Rh	1000000	Re	200000	Yb	3000	La	400	Cr	12
Ir	1000000	Pt	200000	Br2	3000	Nb	400	Ti	7.4
Au	1000000	Ru	200000	Hf	3000	B	400	Mg	3.6
Pd	500000	In	50000	Se	3000	Co	300	Al	1.5
		Ag	25000	Be	2000	Ce	300	Fe	1
		Lu	10000	Dy	2000	V	200	Si	0.6
		Ge	10000	Gd	2000	As	200		
		Tm	10000	Bi	2000	Zr	200		
		Hg	10000	Sm	2000	Ni	200		
		Tb	10000	Th	2000	Sr	200		
		U	10000	Pr	2000	Cu	120		
		Ho	8000	Ga	2000	Pb	100		
		Ta	8000	Mo	1000	Zn	70		
		Eu	8000	Sb	1000				
				W	1000				
				Y	600				
				Nd	600				
				Li	600				
				Sn	500				

資源指標からみた元素の分類
(〇〇g/kg)は製品中の管理下限の目安

以上、本レポートは、「鉱物資源使用カテゴリーの特性値化係数」の報告書を補正したものである。さらに数値の見直しなどを含めて多くの識者の方々の意見を参考として、完成版としていきたい。

2005年3月

エコマテリアル研究センターセンター長 原田幸明

NIMS-EMC 材料環境情報データ

No.1	金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定に関する調査	(2003年3月)
No.2	鉛マテリアルフロー作成のための基礎調査	(2004年3月)
No.3	我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向	(2004年3月)
No.4	鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCA的検討	(2004年3月)
No.5	我が国のアルミニウムマテリアルフロー調査	(予定)
No.6	バイオマスの利活用に関する調査	(予定)
No.7	中国の非鉄金属リサイクル動向と日本の「廃家電を中心とするリサイクル6法」のその後の状況	(予定)
No.8	「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数	(2005年3月)

独立行政法人物質・材料研究機構
エコマテリアル研究センター

〒 305-0047

茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL 029-859-2668

FAX 029-859-2601

e-mail emc@wotome.nims.go.jp

home page <http://www.nims.go.jp/emc/>

