

第 編 鉱物資源の多様性と安定供給

1. はじめに

鉱物資源の供給障害はさまざまな原因で起こり、社会的混乱を引き起こすことはよく知られている。とくに、機能性材料として情報化社会をささえるレアメタルのなかには、緊急に対応を迫られている資源がみられる。たとえば、現在もっとも安定供給が懸念されているメタルの一つにタンタルがある。粉末のタンタルは小型のコンデンサーを製造するには欠かせない素材で、近年の携帯電話、コンピュータなど急激な普及にともなって需要は大幅に伸び、供給不足となっている。この数年の動きは過激で、一時的には東南アジアで放置されていた錫スラグからタンタルが回収されたがすぐに底を尽き、新規鉱山の開発が待望されている。増産計画は進められているものの、新規鉱山開発には時間がかかる。この供給不足は、当然のこととして価格の高騰を起こし、投機の対象ともなっている。一方、この供給不足を緩和するために、アメリカの国家備蓄からの放出も行なわれているが、市場の混乱は相変わらずつづいている。わが国では一部のタンタルメーカーが原料不足から製品の出荷ができない事態まで起こっている。このように、毎年、新素材を種々組み合わせ付加価値の高い製品がつつぎに生みだされてきているが、この種の動きでもっとも深刻な問題は供給障害で、価格とともにあるいは価格以上に重要である。とくに、わが国の消費量は世界生産量の20～25%を占めており、受ける影響は大きい。

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

すでに述べたように、鉱物資源の安定供給を図るには、資源開発に係わる障害あるいは政治・経済に係わる障害を、メタルごとに検討し、緻密な戦略をたてる必要がある。以下に、まず、鉱物資源の多様性に触れ、そのうえで、銅、コバルト、タンタルについて最新の需給動向を調査し、供給障害のシナリオと、その障害が日本経済に与える影響について検討した。銅は伝統的の金属で、もっとも代表的な非鉄金属である。コバルトは、近年、鉱石生産量と消費量の逆転現象が起こった金属で、タンタルは、一昨年秋に価格高騰、極端な供給不足をまねいた金属である。

2. 鉱物資源の多様性

2.1 ベースメタルとレアメタル

現在では、自然界のほとんどの金属が何らかの形で使われている。これらの金属の分類にはきまったものではなく、便宜的に、伝統的に多量に使われているベースメタルと消費量は少ないが新素材で重視されているレアメタルに通常、区分される。最新の資源統計から金属 43 種と石油について、市場規模、価格、生産量について見ると、いずれも百万倍以上の大きな差があり、一つのグラフにまとめるには、対数でしか表せない。たとえば、ベースメタルの銅、亜鉛、鉛の需要量はいずれも 100 万 t を超え、市場規模も大きい。レアメタルはまちまちである。銅を基準にして、市場規模、価格、生産量について比較すると、コバルトでは銅の 1/30、14 倍、1/424 で、タンタルは 1/9、755 倍、1/6870 となっている（図 2.1）。なお、銅の市場規模は原油の 1/30 である。このように、市場規模、価格、生産量のほか、用途、生産国なども資源種によって大きな相違がみられる。

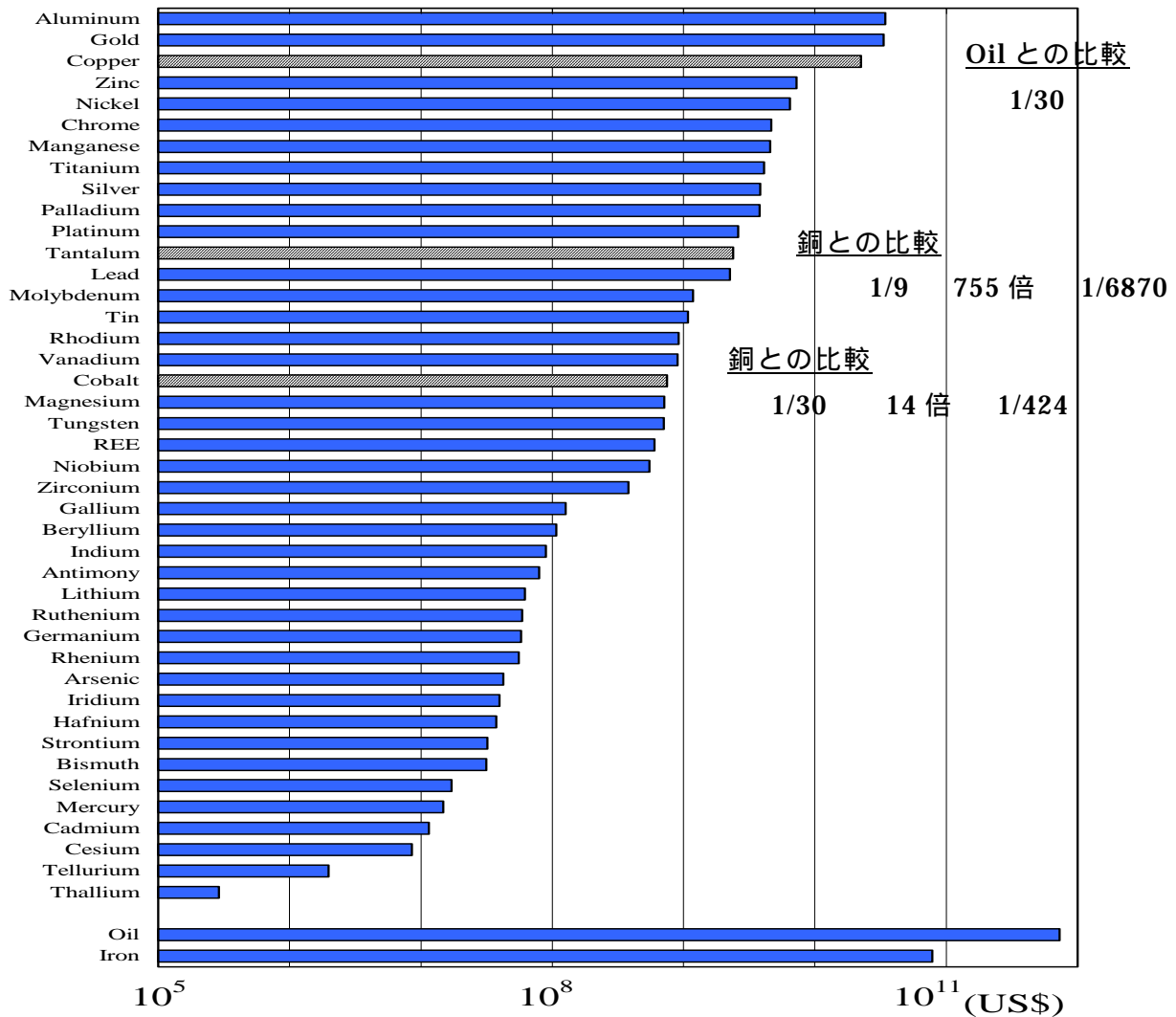


図 2.1 金属資源と原油のマーケットシェア

比較計算は、市場規模 価格 生産量 (各金属 / Oil 又は銅)
出典：金属鉱業事業団

2.2 鉱物資源の需要と技術文明

これまでの研究によると、特異な金属を除くと、地球上で消費されている金属資源量はいずれも増加の一途をたどり、減少の兆候は見られない。しかしながら、当然のことではあるが、増加状況は、金属種により、国ごと、技術文明の発展段階、政治形態、経済システム、貧富の度合いなどを反映し、大きく異なる。

たとえば、わが国について、軽工業を主体にしていた時期、重工業を主体とした時期、さらに情報産業を主体にした時期に区分し、銅、亜鉛、鉄、アルミニウム、エネルギーの需要の増加状況を比較すると、軽工業の時代はいずれの金属、エネルギー資源も同じような増加率を示すが、重工業の時代になると金属の増加率がエネルギーの増加率を越えるようになり、情報産業の時代では、逆にエネルギーの増加率が金属の増加率を越えている(図 2.2)。

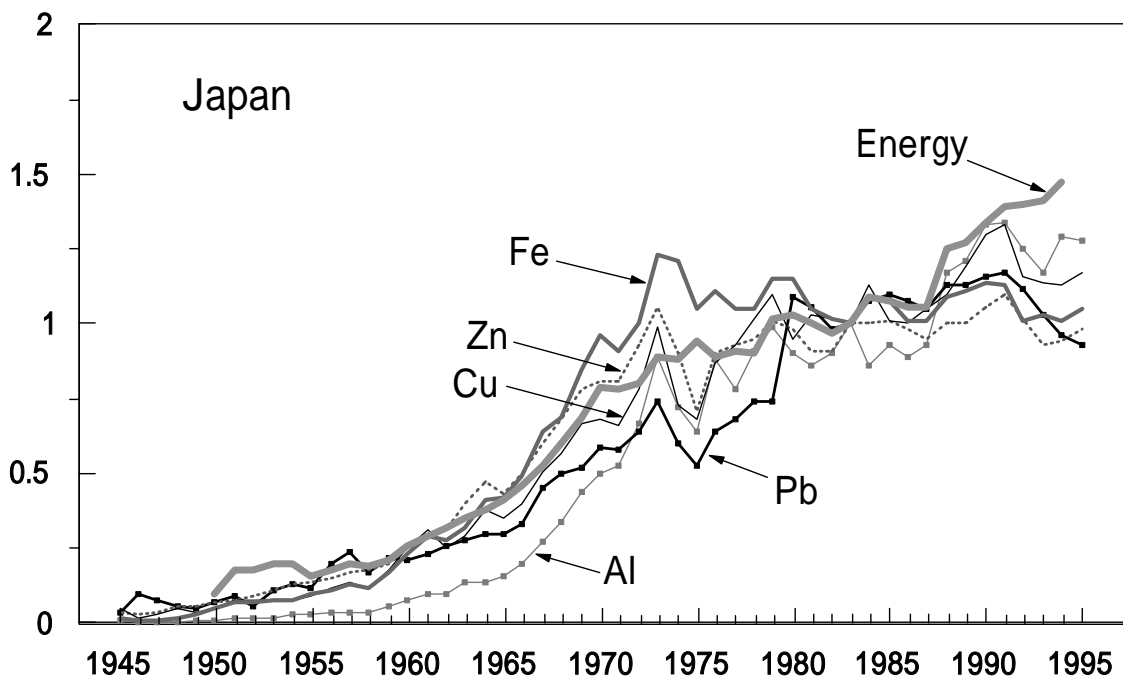


図 2.2 日本の主なベースメタルとエネルギー消費の推移

(1983年の消費量を1とする)

出典：IEA, OECD, WBMS

2.3 資源の偏在性と市場の安定性

資源の偏在性は古くから資源の安定供給を乱すもっとも大きな原因として指摘されている。偏在の著しい鉱物資源 15 種とベースメタルについて、国別に上位 3 位までの埋蔵量を比較したものであるが、白金の 90%、クロムの 83%が南アフリカに、ニオブウムの 90%がブラジルに、バナジウムの 50%がロシアに賦存している。これらのレアメタルは、暴動や突発的地域紛争の起こりやすいアフリカあるいは南アメリカおよび旧共産国家に集中し、カントリーリスクが大きいことがわかる。一方、ベースメタルはレアメタルに比べると多くの国に分散し、多様化されており、政治的に安定した国が含まれている(図 2.3)。

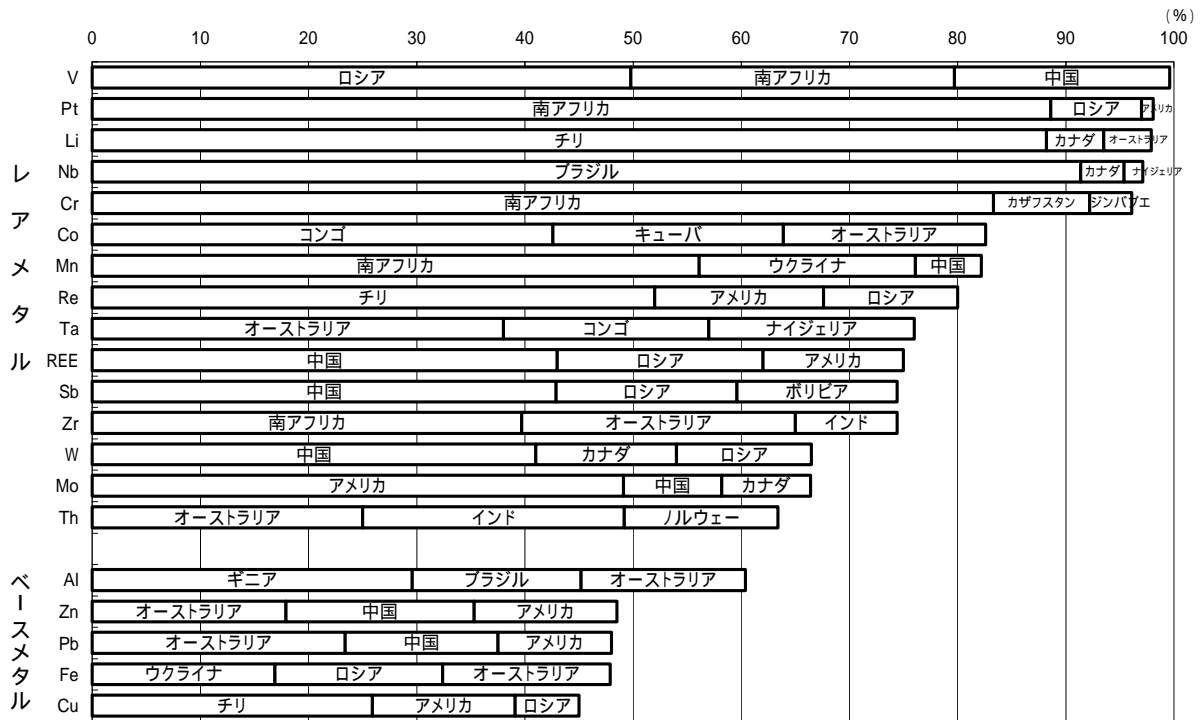


図 2.3. レア金属とベース金属の国別埋蔵シェア (上位 3 カ国)
出典: Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines

このような偏在性は必然的に供給を不安定なものにし、市場価格にも反映している。1990 年の価格を 1 として、1975 年から 2000 年までの価格推移をみると、鉄、銅、アルミニウム、亜鉛は 0.5 から 1.5 までの範囲で比較的安定に推移している (図 2.4(a))。これに対し、レア金属の価格変動は激しく、なかには 10 倍近くまで高騰することもある (図 2.4(b))。これは市場が小規模であることに加えて、資源の偏在性が大きな要因となっている。

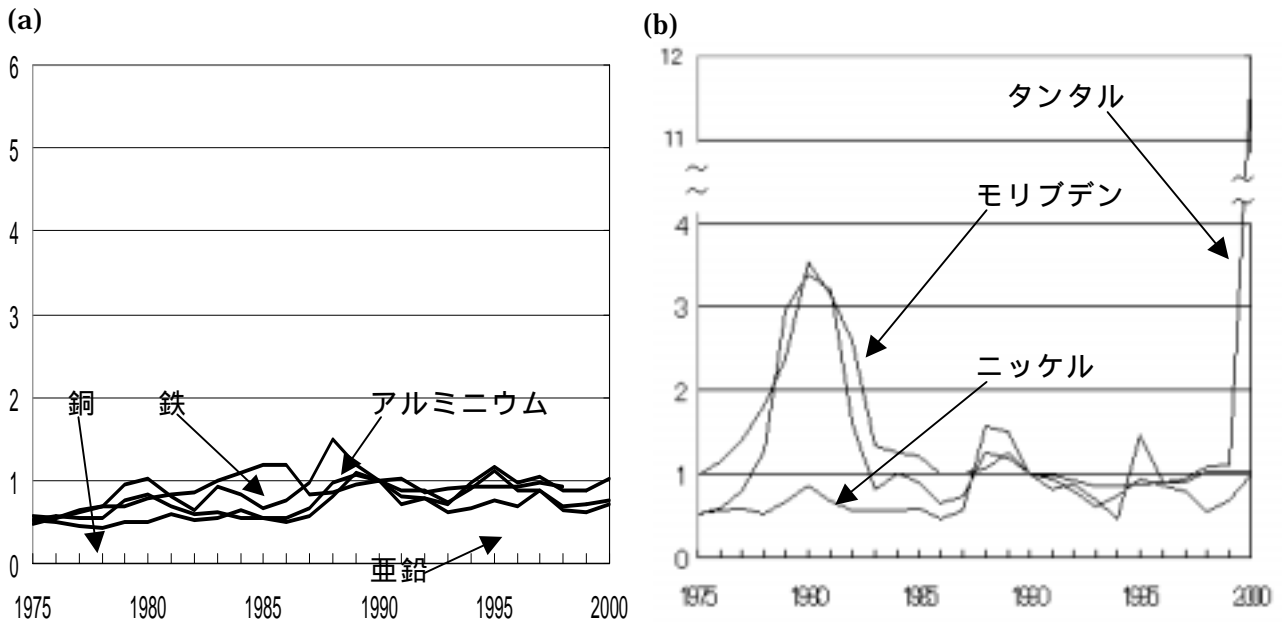


図 2.4 主なベース金属とレアアースの価格推移(1990 年の価格を 1 とする)

(a)ベース金属 (b)レアアース

出典: Metal prices in the United States

2.4 価格変動と資源開発

価格の変動は、基本的には需給バランスを中心として起こる。急激な変化が起こると投機の対象となり、市場は大きく混乱する（図 2.5）。これまでに市場を大きく混乱させた具体的な原因として、国際紛争、労働争議、投機、急激な需要の増加あるいは減少などがある。たとえば、少し古いがシャバ紛争によるコバルトの高騰、ヤング兄弟による銀市場への投機、冷戦構造の崩壊とともに生じたメタルパニック、コンデンサー需要の急激な増加によるタンタルなどがあげられ、年平均価格の最大変動幅は数倍を超えている。高騰しやすい市場であるがために、投機性も高い。しかし、価格が上昇するとあわてて生産の拡張や新規鉱山の開発が行なわれるので、価格の高騰は、通常は一時的なもので、やがて価格は落ち着く。ところが、高価格にもとづく開発計画は市場規模を無視して立てられ、しばしば生産過剰になり、価格は暴落することになる。暴落すると閉山があいつぎ、供給不足となり、また高騰する。このようにして乱高下がしばしば起こる。これは対象金属が独自の開発鉱山をもつ場合であるが、レアメタルの中にはベースメタルなどの生産過程で副産物として産出されるものもある。この場合は独立の開発鉱山をもつ金属とは異なり、供給の増産も減産も自由なコントロールができず、主生産物の生産動向に追従したものとなる。

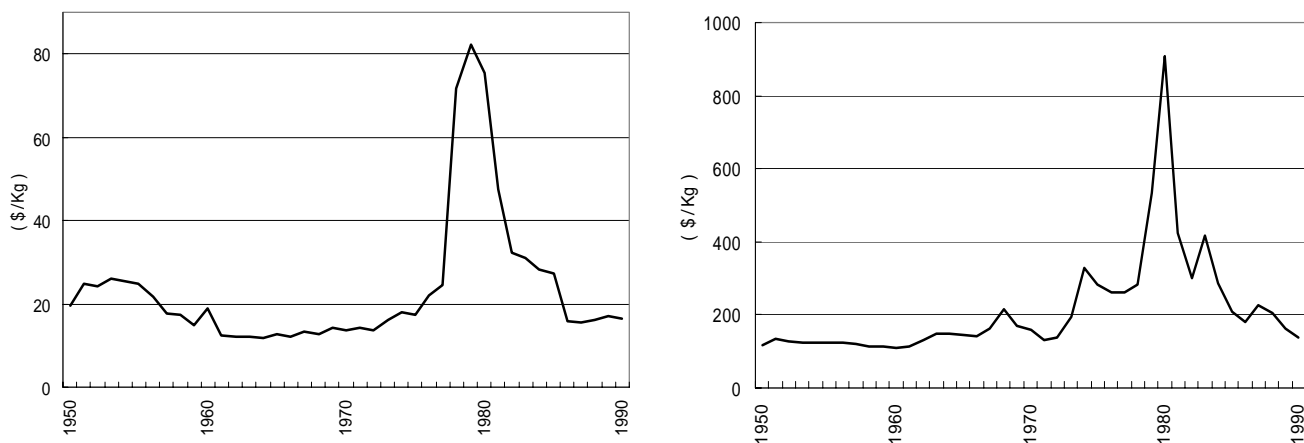


図 2.5 市場を混乱させる価格変動

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

出典：Metal prices in the United States

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

2.5 科学技術の発展と安定供給

先端科学技術の研究・開発努力は高機能材料に向けられ、物理的、化学的に特異な性質をもった、付加価値の高い製品をつぎつぎに生みだしている。この動きは、特別の金属を必要とし、原料面では、従来の安価で多量の供給から高品質で少量の、安定した素材の提供が求められるようになる。この技術開発の急激な展開は、予期せぬ鉱物資源に需要を呼び起こし、資源の需給構造を大きく変換させることがある。

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

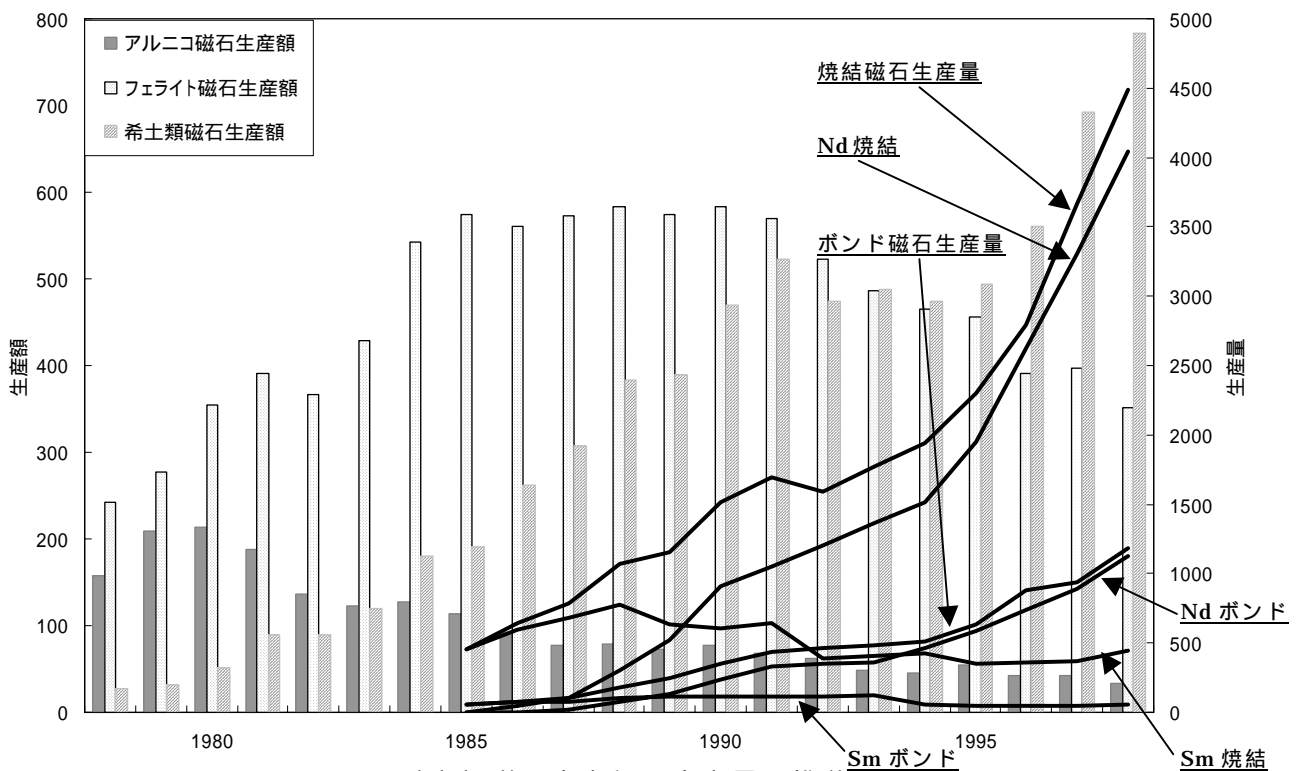


図 2.6 希土類磁石生産額・生産量の推移 出典：鉱業レアメタル

つづいて、さらに磁気特性の優れたネオジム・鉄・ボロン磁石が開発されると、こんどはネオジムの増産が必要になり、サマリウムは余るようになった。この動きに対応して希土類資源の供給構造は大きく揺れ動いた（図 2.6）。希土類資源はもともと耐用年数 1,300 年を超えており、ライターの石やガラス工業への供給には問題はないが、希土類のなかの特定の元素であるネオジムやサマリウムが必要となると、あらたに希土類資源の再分類が必要となった。すなわち、自然界では希土類元素は一緒に産出するがその相対比は異なっており、ネオジムやサマリウムなどの中・重希土類が注目されると、中・重希土類の多い中国のイオン吸着鉱と呼ばれる鉱石が急に重視されるようになった。ところが、この種の希土類鉱床は、はっきりしないがきわめて限られ、偏在している。現在の希土類資源の供給構造は、流通、カントリーリスクなどの問題もかかえており安定したものではない。

2.6 資源供給とリサイクルの経済性

近年、リサイクルに対する考え方は環境問題から基本的なところから変わってきており、先進工業国の共通した社会的要請となっている。これまでのリサイクルは利潤が上がるからやるということが原則であったが、増大を続ける廃棄物は、海埋立あるいは山間部の処理地問題を喚起し、廃棄物の減量化あるいはリサイクルの必要性は差し迫った深刻な社会問題となっている。また、廃棄物のなかには、有害物質の拡散を防止し、無害化しなければならないものも含まれている。しかしながら、リサイクルは決して経済性を無視しておこなわれるものではない。循環型社会という標語のもとに、すべての資源が繰り返し使われ、新しい資源の補給は不要になるような考えがあるが、これは経済的観点が無視されている。このような社会では、回収される資源はきわめて高価なものになり、エネルギーも多量に必要とする。この関係をコロラド鉱山大学のTilton(1999)*は図 2.7 のように表している。すなわち、リサイクルにより回収できる量は価格により決まるが、回収率を上げると急激に上昇する。図 2.7 において、リサイクルにより儲かる回収価格を P_0 とすると、回収量は Q_0 である。これに、環境としての価値、ストックとしての価値を組み込み評価し、回収価格が P_1 、 P_2 にあがったとしても、回収量は Q_1 、 Q_2 に上昇するだけで、依然、きわめて限られたものにとどまる。

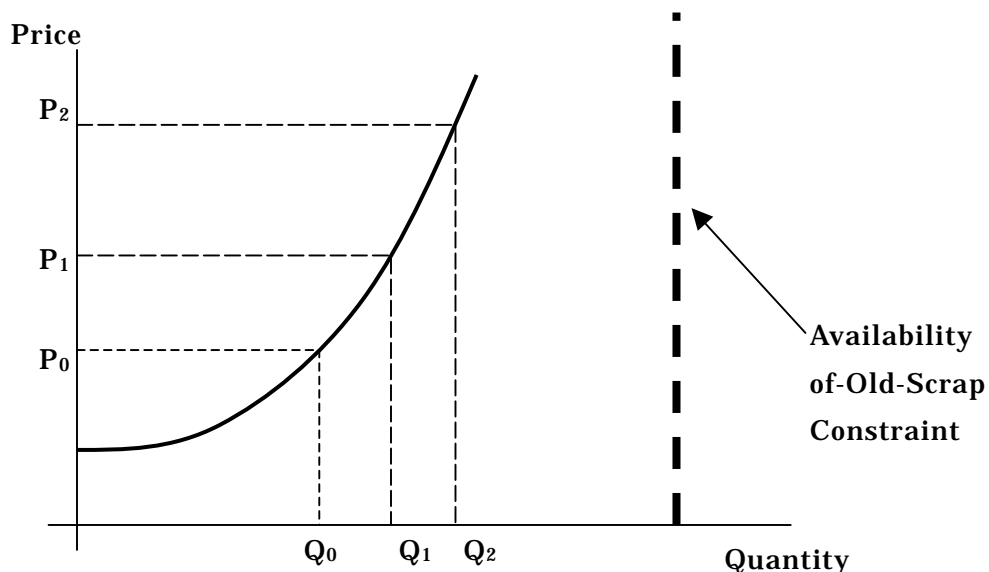


図 2.7 リサイクルの供給曲線

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

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

2.7 わが国の安定供給に向けて

鉱物資源の安定供給はわが国の社会にとって、現・近未来の重要課題である。かつて、資源情報の欠如から資源需給バランスが崩れ、社会的混乱を引き起こした例は数多く知られている。この問題は、古くは鉱山開発戦略にかかわるものとして扱われていたが、科学技術の発展とともに深刻なものとなっている。すなわち、現在では、資源戦略は社会、経済の発展にかかわる基本事項である。

それでは、如何なる対策をたて、具体的に対策を進めるかについて考えてみたい。それは、繰り返し述べたように、金属種ごとに考えるのが基本であるが、あえてベースメタルとレアメタルに分けて要点を列記してみよう。

まず、ベースメタルでは、世界に誇る生産量と先端技術をもった製錬所がわが国に存在する。この製錬所が必要とする精鉱の安定供給を図り、これら製錬所からの素材のうえに構築されているわが国の工業を発展させねばならない。わが国が輸入する銅精鉱必要量についてみると、世界全体では増加を続けるものと予測されるにもかかわらず、停滞あるいは微増と推察される。技術文明の成熟したわが国では、かつてのようにベースメタルの消費が増加することは考えられない。したがって、近未来における、わが国の必要供給量は、現在の生産量が基準になろう。しかし、膨大になってしまった需要量の安定供給を図るためには、世界的視野のもとに考えない限り不可能である。世界的なベースメタルの資源統計は比較的整っていることを考慮すれば、需給予測は、ある程度、可能である。しかしながら、ここで、重要なことは、複雑に絡み合った資源統計を解きほぐすには、長期にわたるデータの蓄積が必要であり、繰り返し繰り返し予測を行い、つねに予測値は修正する努力が積み重ねられてなければならない。具体的に調査項目をあげると、現未来ではLME、寡占化などの市場動向、融資、借款などの資金、さらに、操業とメンテナンス技術がある。近未来では、鉱物資源の基礎的調査、総合開発計画、人材育成などである。

一方、レアメタルでは、わが国のハイテク産業が必要とする原料を安定供給することが第一の目的となろう。ここで問題となるのは、資源の確保と価格であるが、付加価値の高い製品が造られ、必要素材量は少ないので、価格よりも原料の安定供給がより優先される。需要量と金属種は科学技術の発展によって大きく左右されており、特定金属の急激な需要増加、減少がしばしば起こる。原料供給不足は産業の存亡にかかわる重大な事態を引き起こす。しかし、レアメタルの市場規模は小さく、資源は偏在しているので、個々の金属ごとに異なった問題をはらんでいる。共通していえることは、科学技術の発達と社会の動きを背景に、探鉱から生産に至る世界の資源産業の動向をつねに把握し、将来の供給障害を事前に察知して対策をたてることである。

3. 銅

3.1 需要と供給

3.1.1 需給予測

世界規模でみると、銅鉱石の生産は1999年で約1,200万トンであり、上位10カ国のシェアは図3.2のようになる。これと、後述する埋蔵量(図3.1)を比較してみると、鉱石生産ではさらに偏在性が高まり、チリとアメリカに大きく依存していることがわかる。

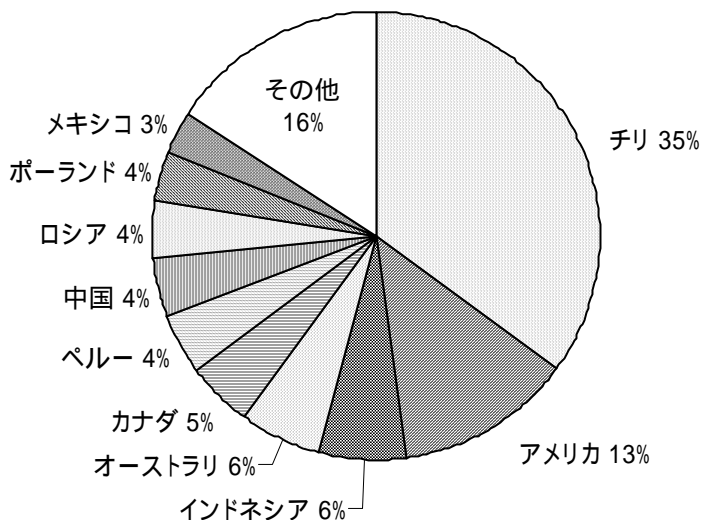


図 3.1 上位 10 カ国の銅鉱石生産割合
出典：WBMS, UBS Warburg & Enron Metals Limited

わが国の銅地金の消費量は、2000年で約130万トンであり、世界の9%程度である。近年注目されているのは、中国の需要の伸びで、2000年から2001年にかけて、消費は150万トンから180万トンへと20%も伸びている。中国の需要が世界の需給構造に与える影響は大きく、今後の動向は見逃せない。中国の銅供給は国内生産だけでは不十分で、輸入に依存するため、このまま伸びていくとすれば、中国と同様に、国内で銅鉱石を産出しない日本、西ドイツ、韓国などとの間で鉱石輸入が逼迫することが考えられる(表3.1)。

表 3.1 主な銅地金生産国

国名	千トン	割合
チリ	2,666	19%
アメリカ	2,130	15%
日本	1,342	9%
中国	1,174	8%
ロシア	750	5%
西ドイツ	696	5%
カナダ	540	4%
ポーランド	471	3%
韓国	451	3%
ペルー	434	3%
その他	3,670	26%

出典：WBMS

表 3.2 わが国の銅鉱石・精鉱の主な輸入先

国名	千トン	割合
チリ	1,788,006	42%
インドネシア	833,574	20%
カナダ	529,386	12%
オーストラリア	351,404	8%
パプアニューギニア	283,173	7%
アルゼンチン	162,209	4%
ペルー	61,294	1%
フィリピン	49,504	1%
トルコ	38,817	1%
メキシコ	38,489	1%
その他	110,881	3%

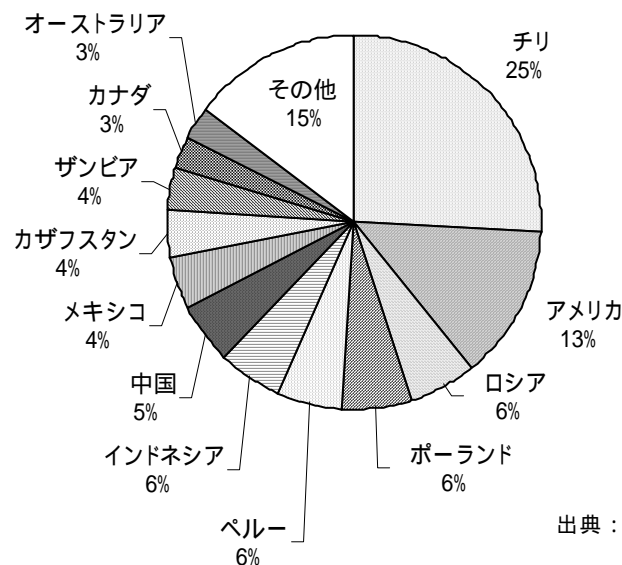
出典：WBMS, UBS Warburg & Enron Metals Limited

一方、供給面でみると、表 3.2 で示しているように、わが国の銅鉱石・精鉱の主な輸入先はチリであり、全体の 4 割を超えている。

世界の 35%を産出するチリの銅産業は、もともと海外資本に依存していたが、1966 年以降、政府の資本参加が進み、1971 年に憲法改正が行われて El Teniente、Andina、Chuquicamata、Exotica、El Salvador の五大鉱山が国有化された。その後、積極的に優良鉱山の開発が行われてきている。今後も多くの開発プロジェクトが計画されており、世界銅石生産に占めるシェアは確実に伸びていくことが予想される。

3.1.2 埋蔵量と偏在性

銅の確定埋蔵量は 1980 年以降 3 億トンを超えており、2000 年では 3 億 4 千万トンであった。これを国別にみると、チリが全体の 25%を占め、アメリカが 13%であり、残りは、数%、あるいはそれ以下の国が多数存在し、上位 3 カ国を加えても 44%で過半数にはならず、世界的に広く分布している資源といえる（図 3.2）。しかしながら、確かに一部のレアメタルのように極端な偏在性はみられないが、チリに偏っている点には注意を払うべきであろう。



出典：Mineral Commodity Summaries
Bureau of Mines

図 3.2 銅埋蔵量の分布

3.1.3 リサイクルと代替性

用途としては、電気銅の 6 割近くが電線に使われ、残りのほとんどが伸銅品に使われる。表 3.3 に示しているように、多くの製品でリサイクルが進められており、ベースメタルのなかでは、アルミニウム、鉛に次いでリサイクル率も高い。しかしながら、1980 年代の後半以降、価格の低迷が続いた結果、リサイクル量は急激に減少し、20%程度であったりリサイクル率が 10%程度にまで落ち込んでいる。

表 3.3 銅製品のリサイクル状況

群	製品種類	回収率
電力・通信・鉄道用	通信事業用電線	100%
	送配電線	100%
	鉄道用電線	100%
機器・金属製品類	家電	17%
	電子・通信機器	35%
	その他電気	10%以下
	事務機器等	40%
	ガス・石油機器	24%
	金属製品日用品	8%
自動車	自動車	48%
産業用機器 機械・船舶など	産業用機械	80%
	産業用冷凍空調	85%
	重電	80%
	船舶等輸送機器	80%
建設関係廃棄物	建設関連電線	80%
	建設関連伸銅品	57%
	建設物付設機器	-

出典：日本メタル経済研究所

3.2 銅価格

3.2.1 市場価格の推移

世界のマーケットスケールは約 225 億ドルで、非鉄金属ではアルミニウムと金につづいて規模は大きい。

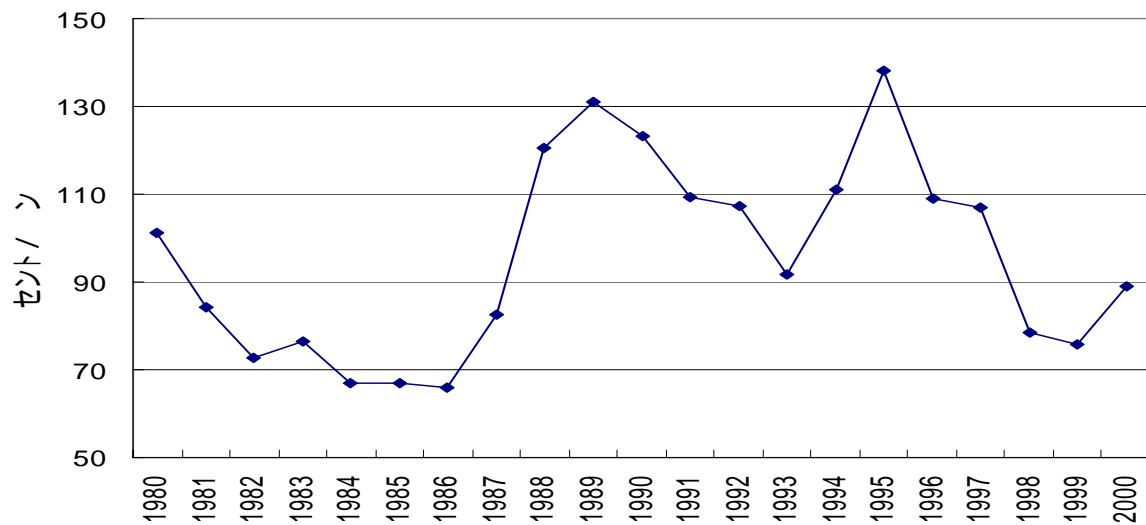


図 3.3 銅価格の推移 (COMEX)

つぎに、価格推移は図 3.3 に示しているとおり、90 年代の半ばから低迷が続いており、昨年 7 月には 1 ポンド 60 セント台にまで落ち込んでいる。このような低価格が維持されると、アメリカやカナダなど、操業コストが比較的高い先進国の鉱山では、閉山に追い込まれるものが出てくるのが予想され、逆にチリやインドネシアでは、増産によって利益を確保しようという動きが強まり、寡占がすすむことが懸念される。これらの事項を配慮して、近い将来の価格推移を具体的に予測すると以下ようになる。

3.2.2 今後 5 年間の価格予測 (新熊他, 2000*, 新熊・西山, 1999**)

(1) 銅市場の供給関数および需要関数の推定

1990~99 年のデータから銅市場の供給関数と需要関数を推定する。推定される方程式は、

$$C = xP + yM_{-1} + zM + s \quad \text{供給関数.....}$$

$$C = jP + kG + t \quad \text{需要関数.....}$$

である。ここで、C: 銅消費量、P: 銅価格、M: 鉱石生産量、M₋₁: 前年の鉱石生産量、G: 世界の実質 GDP、x, y, z, s, j, k, t: パラメータである。

供給関数において前年の鉱石生産量が含まれているのは、それが当期における増処理・減産を含まない、鉱山の基本的な生産能力を表わすと考えることができるからである。また、需要関数において、経済活動規模を表わす変数として世界の実質 GDP が用いられている。

表 3.4 1990~1999 年における銅消費量・鉱石生産量・世界の実質 GDP・銅価格

年	C (銅消費量) [メタルkt]	M (鉱石生産量) [メタルkt]	M ₋₁ (一期前の 鉱石生産量) [メタルkt]	G (世界の 実質 GDP) [十億ドル]	銅価格 [¢ / lb]
1990	10780.4	7866.8	9103.1	25903	151.30
1991	10695	9160.8	7866.8	26183	128.89
1992	10800.7	9458.1	9160.8	26644	122.88
1993	10993.7	9474.4	9458.1	27008	101.78
1994	11660.2	9574.9	9474.4	27815	120.26
1995	12151.9	10179.7	9574.9	28577	145.73
1996	12399.9	11102.5	10179.7	29531	111.57
1997	13080.2	11482.4	11102.5	30691	106.90
1998	13339.4	12284.5	11482.4	31,320	78.82
1999	14024.2	12756.1	12284.5	31946, 32103, 32260, 32416	69.25

(出典) 銅消費量と鉱石生産量は、ともに World Metal Statistics による。1997 年の時価で評価した価格は、Mineral Facts and Problem, Mineral Commodity Summaries, Metal Bulletin Price & Data による。

世界の实質 GDP は、EDMC エネルギー・経済統計要覧による。

(注) 1999 年の世界の实質 GDP 値は、左から 1999 年以降 2% 成長・2.5% 成長・3% 成長・3.5% 成長に対応している。

表 3.4 は、1990 年～1999 年における、銅消費量、銅価格、鉱石生産量、前年の鉱石生産量、世界の实質 GDP を表わしている。ただし、表 1 において、99 年の世界の实質 GDP は予測値であるが、98 年比で 2% 成長、2.5% 成長、3% 成長、3.5% 成長の 4 つのケースが示されている。なお、将来価格予測もこの 4 つのケースごとに行われる。

推定結果をまとめると以下ようになる。

99 年以降世界の実質 GDP が 2%で成長した場合：

$$C = \underset{(2.52)}{24} P + \underset{(3.80)}{0.67} M + \underset{(3.17)}{0.54} M_{-1} - \underset{(-1.16)}{3108} \quad \text{供給関数.....}$$

$$(R^2=0.96, DW=2.38)$$

$$C = \underset{(1.28)}{4.85} P + \underset{(14.00)}{0.58} G - \underset{(-3.35)}{5247} \quad \text{需要関数.....}$$

$$(R^2=0.98, DW=1.32, \text{括弧は } t \text{ 値})$$

99 年以降世界の実質 GDP が 2.5%で成長した場合：

$$C = \underset{(2.54)}{25.11} P + \underset{(3.72)}{0.69} M + \underset{(3.07)}{0.55} M_{-1} - \underset{(-1.22)}{3407} \quad \text{供給関数.....}$$

$$(R^2=0.96, DW=2.36, \text{括弧は } t \text{ 値})$$

$$C = \underset{(1.91)}{6.44} P + \underset{(16.15)}{0.59} G - \underset{(-4.10)}{5672} \quad \text{需要関数.....}$$

$$(R^2=0.99, DW=1.22, \text{括弧は } t \text{ 値})$$

99 年以降世界の実質 GDP が 3%で成長した場合：

$$C = \underset{(2.51)}{26.31} P + \underset{(3.61)}{0.7} M + \underset{(2.97)}{0.55} M_{-1} - \underset{(-1.27)}{3732} \quad \text{供給関数.....}$$

$$(R^2=0.96, DW=2.33)$$

$$C = \underset{(2.53)}{7.7} P + \underset{(18.19)}{0.6} G - \underset{(-4.79)}{5976} \quad \text{需要関数.....}$$

$$(R^2=0.99, DW=1.19, \text{括弧は } t \text{ 値})$$

99 年以降世界の実質 GDP が 3.5%で成長した場合：

$$C = \underset{(2.44)}{27.6} P + \underset{(3.48)}{0.71} M + \underset{(2.85)}{0.56} M_{-1} - \underset{(-1.29)}{4084} \quad \text{供給関数.....}$$

$$(R^2=0.95, DW=2.30)$$

$$C = \underset{(3.05)}{8.7} P + \underset{(19.92)}{0.6} G - \underset{(-5.34)}{6142} \quad \text{需要関数.....}$$

$$(R^2=0.99, DW=1.29, \text{括弧は } t \text{ 値})$$

通常、需要関数において、P の係数は負の値をとるが、推定された係数はいずれも正であった。しかしながら、それらは、供給関数の P の係数と比較してかなり小さい値であり、特に、98 年以降 GDP が 2%で成長したと仮定される場合でのそれはゼロとみなしうる値である。このことは、需要が価格にそれほど反応せず、主として GDP によって説明されることを意味している。これは、銅を生産要素として使用する財の生産にとって、多くの場合、価格水準に応じてその投入量を大きく変動させることができないためと考えられる。

(2) 可能供給量の導出

現在稼働中の鉱山は価格水準によって生産を続行するか閉山するかを決定する。すなわち、各鉱山は、それ以下の価格水準では閉山に踏み切るという臨界価格をもっている。すべての鉱山をそのような臨界価格の低い順番に並べ替えて、累積生産量を計算すると、その価格に対応する可能供給量を得ることができる。

まず、現在稼働中である個々の鉱山について閉山価格を求めなければならないが、それは、次の式で与えられる。

$$P_C = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \frac{c \frac{1 - e^{-\rho T}}{\rho}}{\frac{1 - e^{-\delta T}}{\delta}} \dots\dots\dots$$

式の詳しい導出方法については、新熊・西山(1999)を参照されたい。ここで、 c : 平均採掘費用 (mining cost)、 T : 残存採掘年数、 ρ : 割引率、 β_2 : 将来価格の期待上昇率であり、また、 δ = ρ である。また、 β_2 は、次の特性方程式の負の解である。

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \beta(\beta - 1) + (\rho - \delta)\beta - \rho = 0 \dots\dots\dots$$

ここで、 σ^2 は将来価格の分散を表すパラメータである。

このように閉山価格は、様々なパラメータに依存するが、ここでは、それらを次のように仮定した。

$$c = 0.1, \quad T = 0.2, \quad \rho = 0, \quad \delta = \rho, \quad \sigma^2 = 0.1$$

70年以降の銅価格は、長期的トレンドをみると低下傾向を示しているが、1997年で評価した2001年現在の価格は70年以降で最も低い水準であることから、今後少なくとも2~3年は、さらなる価格低下が進むとは期待しにくい。しかしながら、1999年以降続いている、チリをはじめとする大規模な増産計画の存在を考慮すると、また、日本経済の長引く不況や2001年にアメリカで起こった同時多発テロの影響を考えると、ここ2~3年は、銅価格が大きく上昇するとも期待しにくい。以上のことを総合的に判断して、将来の銅価格の期待上昇率 $\beta_2 = 0$ と仮定した。とくに、2002~2005年の銅価格予測においては、 $\beta_2 = 0$ という仮定は適当なものと考えられる。 $\beta_2 = 0$ のとき、閉山価格は、次のようになる。

$$P_C = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} c \dots\dots\dots$$

表2は、2000年の可能供給量を表わしている。表2の第1列は、式から計算された個々の鉱山の閉山価格を表わし、第2列は、可能供給量を表わしている。

表 3.5 2000 年の生産可能量

閉山価格 c/lb(\$1997)	推定された 生産可能量 メタルkt (2000年)	42.6	12492.0
		42.8	12504.6
		43.3	12505.1
4.7	0.5	43.4	12513.9
16.3	808.5	43.9	12627.1
17.6	1186.0	44.2	12855.8
18.1	1248.3	44.8	12866.7
18.9	1439.2	46.3	12919.3
20.3	1455.1	46.8	12938.9
20.5	1701.3	46.9	13045.6
20.7	1701.3	48.8	13049.4
21.1	1930.5	53.3	13106.3
21.6	1931.6	54.0	13155.0
		56.9	13173.6
・	・	59.4	13195.0
・	(略)	63.2	13240.4
・	・	65.2	13249.1
		67.3	13251.3

(3) 将来価格の予測 (2002 ~ 2005 年)

ここでは、世界の実質 GDP が 2%成長、2.5%成長、3%成長、3.5%成長の 4 つのケースについて、供給関数および需要関数を推定した。表 3 は、世界の実質 GDP の予測値を表わしている。ここでは、それをふまえて 4 つのケースについて銅価格の将来予測を行う。その準備として、将来予定されているプロジェクトについていくつかの仮定をおく。

表 3.6 世界の实質 GDP 予測値 (\$1995)

年	2.0%成長	2.5%成長	3.0%成長	3.5%成長
1999	31946	32103	32260	32416
2000	32585	32906	33228	33551
2001	33237	33728	34225	34725
2002	33901	34571	35251	35940
2003	34579	35436	36309	37198
2004	35271	36322	37398	38500
2005	35976	37230	38520	39848

〔新規プロジェクトに関する仮定〕

表 3.7 は、2001 年現在における、将来の新規プロジェクト計画とそこから予定生産量を表わしている。

表 3.7 2001 年に計画されている新規プロジェクト計画と予定生産量 (kt)

year	2001	2002	2003	2004	2005
project 1	72	554	616	885	1201
project 2		170	184	186	188
project 3			202	252	275
project 4				1355	1848
project 5					804

(仮定 - 1)

表 3.7 における project 1~5 は、それぞれ複数の個別プロジェクトから構成されるプロジェクト群である。四角で囲われた project 1 は、2001 年現在、プロジェクトの実行が確実視されているかあるいは既に実行されているものである。それ以外の project 2~5 は、もし同表での実行年次において銅価格が低いならば、延期が可能なプロジェクトを表わしている。

将来価格を予測するには、既存鉱山における閉山 or 継続の判断(閉山価格の決定)と同時に、将来予定されている新規プロジェクトにおける延期 or 実行の判断(開山価格の決定)がきわめて重要である。一般的な枠組みでの開山価格の理論値は新熊・西山(1999)で導出されているが、ここでは、データの制約上、新規プロジェクトの開山(実行)価格を一律 $\phi 80/lb$ と仮定する。

(仮定 - 2)

新規プロジェクトからの生産が開始された場合は、その後の銅価格が低迷した場合でも、生産開始後の生産は、同表で表わされた計画にしたがって進められるものと仮定する。すなわち、新規プロジェクトこれは、生産計画が費用最小化の観点からなされたものであると考えられるからである。

(仮定 - 3)

また、一度実行された新規プロジェクトは、少なくとも価格予測期間内(2002~2005年)に閉山されることはないとは仮定する。これは一般に閉山価格よりも開山(実行)価格の方が十分高いからであり、このことは、新熊・西山(1999)において理論的に証明されている。すなわち、新規プロジェクトは慎重に(ある程度の余裕のある状況下でのみ)実行されるということの意味する。

[将来価格予測]

それでは、実際に銅の将来価格予測を行う。例として、世界の実質 GDP が 2.5% で成長するケースについて、予測を行う。まず、2001 年の価格を予測してみる。2001 年の価格予測を行うために、推定された供給関数(式)および需要関数(式)の M_{-1} と G にそれぞれ 2000 年の鉱石生産量(13251.3 メタル kt)と 2001 年において予想される世界の実質 GDP (33728 × 10 億ドル)を代入する。ところが、銅消費 C と銅価格 P の予測値を得るためには、2001 年における鉱石生産量 M が必要である。これを求めるために表 3.5 の既存鉱山からの可能供給量と表 3.8(a) の新規プロジェクトからの生産計画量を用いる。

表 3.8 2.5%成長の場合の新規プロジェクト計画と予定生産量(kt)

(a)	year	2001	2002	2003	2004	2005
	project 1	72	554	616	885	1201
	project 2		170	184	186	188
	project 3			202	252	275
	project 4				1355	1848
	project 5					804

(b)	year	2001	2002	2003	2004	2005
	project 1	72	554	616	885	1201
	project 2		170	184	186	188
	project 3			202	252	275
	project 4				1355	1848
	project 5					804

(c)	year	2001	2002	2003	2004	2005
	project 1	72	554	616	885	1201
	project 2			170	184	186
	project 3			202	252	275
	project 4				1355	1848
	project 5					804

(d)	year	2001	2002	2003	2004	2005
	project 1	72	554	616	885	1201
	project 2			170	184	186
	project 3			202	252	275
	project 4				1355	1848
	project 5					804

(e)	year	2001	2002	2003	2004	2005
	project 1	72	554	616	885	1201
	project 2			170	184	186
	project 3			202	252	275
	project 4				1355	
	project 5					804

最初の試みとして、すべての既存鉱山が閉山しないものと仮定し、それに 2001 年の新規プロジェクトからの鉱石生産量(72 メタル kt)を加えた 13323.3 メタル kt を M とする。

これを C に代入し、 P と C から、 C と P を解くと、

$$C = 14624.8 \text{ メタル kt} \quad P = 61.7 \text{ ¢ / lb}$$

となる。

ところが、この P は既存鉱山からの生産量 13251.3 メタル kt の供給を可能にする閉山価格 67.3 ¢ / lb よりも低いので、供給量 13251.3 メタル kt は実現しない。すなわち、閉山価格の高い既存鉱山の一部が閉山しなければならない。その結果、閉山価格が 67.3 ~ 63.2 ¢ / lb の鉱山は閉山することとなり、最終的に $M = 13267.3$ メタル kt (= 既存鉱山からの鉱石生産量 13195.3 メタル kt + 新規プロジェクトからの鉱石生産量 72 メタル kt) を得る。このとき、

$$C = 14637.7 \text{ メタル kt} \quad P = 63.7 \text{ ¢ / lb}$$

を得る。したがって、2001 年の予想価格は 63.7 ¢ / lb となる。

一度閉山した鉱山は価格が比較的高い水準まで回復しない限り再開しないことはよく知られている。ここでは、2001～2005年という比較的短い期間で価格予測を行うということもあり、また単純化のためにも、一度閉山した鉱山は再度開山することはないものと仮定する。このように2001年で閉山した鉱山を累積生産量から除き、2001年の価格予測と同様の方法で2002年以降の価格予測を行っていく。

次に、2002年の価格予測を行う。まず、

$$M_1=13267.3 \quad G=34571$$

に注意する。Mの候補として、既存鉱山からの可能供給量(13195.3メタルkt)と、表3.8(b)の新規プロジェクトからの生産計画量のうち、実行が確定しているproject 1の生産量(554メタルkt)を足した合計13749.3メタルktを用いる。すると、とより、

$$C = 15189.2 \text{メタル kt} \quad P = 72.1 \text{¢ / lb}$$

を得る。このPは既存鉱山からの生産量13195.3メタルktの供給を可能にする閉山価格65.2¢/lbよりも高いので、既存鉱山の閉山は生じない。また、この価格は、2002年に生産開始を検討している新規プロジェクト(project 2)の実行価格¢80/lbより低いので、project 2は実行されることなく、2003年に延期される。したがって、2003年の新規プロジェクトからの生産計画は、表5-3のように改められる。結局、2002年の予想銅価格は、72.1¢/lbに確定される。

続いて、2003年の価格予測を行う。まず、

$$M_1=13749.3 \quad G=35435$$

に注意する。Mの候補として、既存鉱山からの可能供給量(13195.3メタルkt)と、表3.8(c)のproject 1からの生産量(616メタルkt)を足した合計13811.3メタルktを用いる。すると、とより、

$P = 82.9 \text{¢ / lb}$ を得る。このPは既存鉱山からの生産量13195.3メタルktの供給を可能にする閉山価格65.2¢/lbよりも高いが、2003年に生産開始を検討している新規プロジェクト(project 2とproject 3)の実行価格¢80/lbよりも高いので、project 2とproject 3は実行されることになる。したがって、それら二つのプロジェクトからの生産量372メタルktを先ほどのMの候補(13811.3メタルkt)に加えたものをMとする。したがって、 $M = 14183.3 \text{メタル kt}$ となる。このMを使って再度(5)と(6)からPを計算すると、2003年の予想価格

$$P = \text{¢} 69.2 / \text{lb}$$

を得る。ここで、project 2とproject 3は実行されたので、2004年の新規プロジェクトからの生産計画は、表3.8(d)のように改められることに注意する。

続いて、2004年の予測を行う。まず、

$$M_1=14183.3 \quad G=36321$$

に注意する。Mの候補として、既存鉱山からの可能供給量(13195.3メタルkt)と、表3.8(d)のproject 1、project 2、project 3からの生産量(1321メタルkt)を足した合計14516.3メタルktを用いる。すると、とより、

$P = 72.1 \text{¢ / lb}$ を得る。このPは既存鉱山からの生産量13195.3メタルktの供給を可能にする閉山価格65.2¢/lbよりも高く、かつ、2004年に生産開始を検討している新規プロジ

エクト (project 4) の実行価格 ϕ 80/lb よりも低いので、project 4 は延期される。したがって、2005 年の新規プロジェクトの生産計画は、表 3.8(e) のように改められる。結局、2004 年の予想価格は、 $P = 72.1 \phi / \text{lb}$ に確定する。

最後に、2005 年の価格予測を行う。まず、

$$M_1 = 14516.3 \quad G = 37229$$

に注意する。M の候補として、既存鉱山からの可能供給量 (13195.3 メタル kt) と、表 3.8(e) の project 1、project 2、project 3 からの生産量 (1662 メタル kt) を足した合計 14857.3 メタル kt を用いる。すると、とより、 $P = 78.3 \phi / \text{lb}$ を得る。この P は既存鉱山からの生産量 13195.3 メタル kt の供給を可能にする閉山価格 $65.2 \phi / \text{lb}$ よりも高く、かつ、2004 年に生産開始を検討している新規プロジェクト (project 4、project 5) の実行価格 ϕ 80/lb よりも低いので、project 4 と project 5 は延期される。結局、2005 年の予想価格は、 $P = 78.3 \phi / \text{lb}$ に確定する。

同様の予測方法を適用し、世界の GDP が 2.0% で成長するケース、3.0% 成長するケース、3.5% で成長するケースについても将来価格を予測することができる。表 3.9 と図 3.4 は、それらの結果を示したものである。

表 3.9 銅の将来予想価格 (ϕ / lb , \$1997)

	2001	2002	2003	2004	2005
2.0%成長	58	61.4	66.2	76.1	78.8
2.5%成長	63.7	72.1	69.2	72.1	78.3
3.0%成長	72.4	96.9	101	64.8	47.8
3.5%成長	100.4	112.3	122.5	92.6	54.4

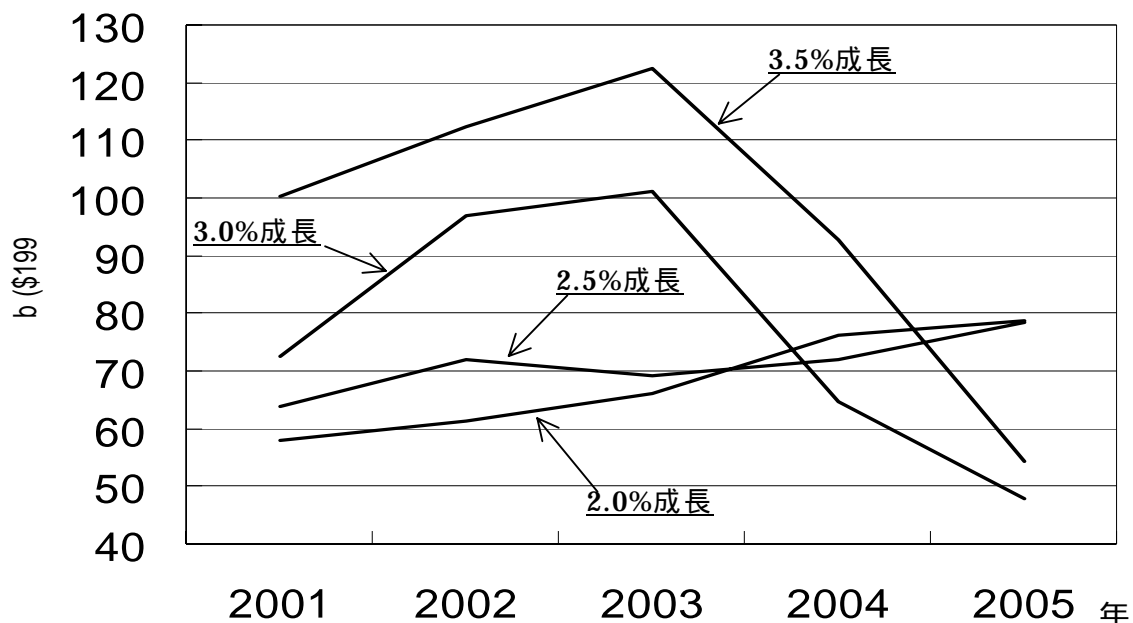


図 3.4 銅の将来予想価格

図 3.4 の結果から、いくつか重要なことがわかる。まず、世界の実質 GDP 成長率が 2.0 ~ 2.5% であるときには、予想将来価格にそれほど差はなく、いずれの場合もゆるやかに価格は上昇し続けることが期待される。それに対して世界の実質 GDP が 3.0% 以上の高い率で成長する場合には、2002 ~ 2003 年にかけて銅価格は高い水準を回復するが、それが 2004 年の生産開始に向けて準備されている新規プロジェクト実行の引き金をひくことになり、結果として、2004 ~ 2005 年にかけて過去例を見ない水準まで銅価格が低迷することがわかる。このとき、既存鉱山が大量に閉山することも予想される。このように、今後の銅価格を予測する上で最も重要なポイントは、世界の実質 GDP の成長率であり、世界経済の力強い回復が必ずしも銅価格の低迷に歯止めをかけるというわけではないことがわかる。

なお、価格予測方法をみれば、新規プロジェクトの開山（実行）価格が重要となることは明らかである。今回の価格予測では、新規プロジェクトの開山（実行）価格を一律 $\phi 80/\text{lb}$ と仮定した。この仮定が結果にある程度影響を及ぼしたという点は否めないが、その影響は限定されたものと考えられる。というのは、図 3.4 における 2003 年度の予想価格が非常に高いことに注意すれば（とくに世界の実質 GDP 成長率が 3.0% 以上のケース）、この新規プロジェクトの開山（実行）価格を $\phi 100/\text{lb}$ 近くまで引き上げても、類似した結果を得ることが期待できる。

3.3 供給障害のシナリオ

これまで述べてきたように、基本的には銅は埋蔵量に偏在性が低く、価格は低迷している。このような状況からみると供給障害の可能性が低いようにも考えられるが、生産国の偏りが懸念される。すなわち、価格が低迷しているなかで、コストの低いチリ、インドネシアなどの特定国が国策として積極的な増産を続けた場合、アメリカやカナダなどの先進工業国の大規模鉱山が閉山に追い込まれ、相対的に、チリやインドネシアなどの寡占化が進むことになる。図 3.4 をもとに、その危険性についてシナリオを考えてみると、世界の経済成長率が 3.0% を超えるかどうかの一つの鍵である。石油輸出国機構のように、生産調整による価格操縦が行われた場合、銅産業に与える影響は大きい。

* 新熊隆嘉, 伊藤俊秀, 角新支朗, 麻植邦敏, 西山孝, 銅の価格予測と近未来における発展途上国の増産計画の影響, 資源と素材, Vol. 116, No. 11, pp. 889-893, 2000

** 新熊隆嘉, 西山孝, 鉱山における不確実性下での開山・閉山・生産能力拡張に関する意思決定, 資源と素材, Vol. 115, p. 573-578, 1999

4. コバルト

4.1 需要と供給

4.1.1 需給予測

まず、需要面で見ると、世界のコバルト需要は、アメリカとヨーロッパ、日本でほぼ三分している（図 4.1）。

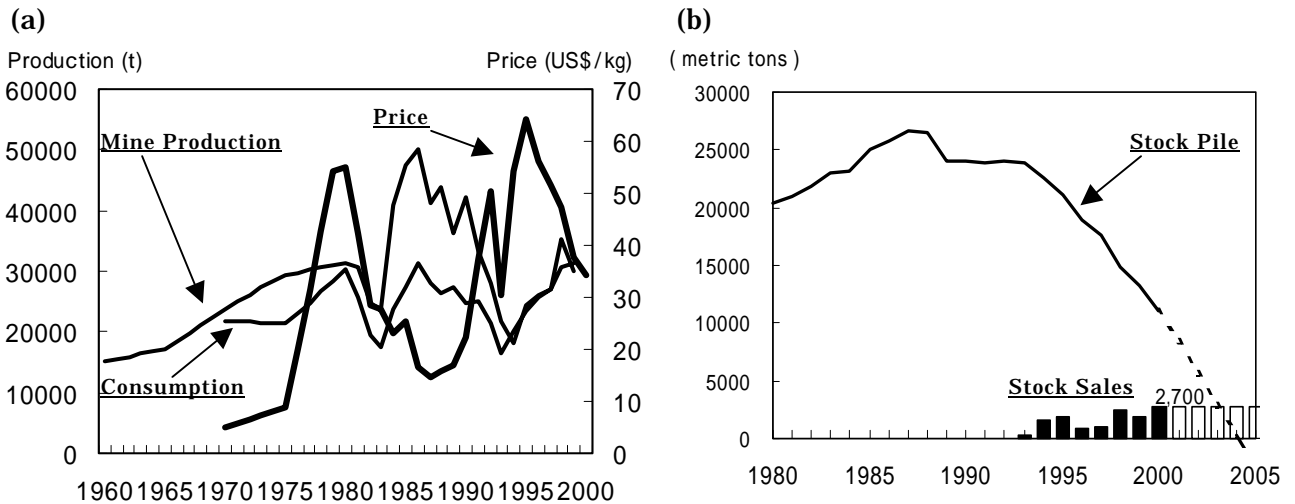


図 4.1 コバルト価格の推移とアメリカの戦略備蓄からの放出量推移

(a)需給と価格の推移 (b)アメリカの備蓄量と放出量

出典： Minerals Yearbook, Mineral Commodity Summaries.

わが国の 1993 年以降のコバルトの需要と輸入、国内生産量をみると表 4.1 のように推移し、これをグラフで表すと図 4.2 のようになる。需要はこの間に 2 倍を超え、2000 年から 2001 年にかけては少し減少したが、2002 年の需要量は 2000 年を上回る 9000 トンと推定されている。輸入鉱石から副産物として産出する国内生産量は 150～300 トンで、需要量の 4000～8000 トンに比べると僅かであり、ほぼ全需要量を輸入しているといえる。

表 4.1 需要・輸入・生産量の推移（トン）

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
需要	4000	4500	4900	5700	6500	6700	7500	8700	8200
輸入	4376	6090	6119	7450	8115	7424	8908	11316	8658
生産	190	161	227	228	300	329	221	311	300

出典：三井物産

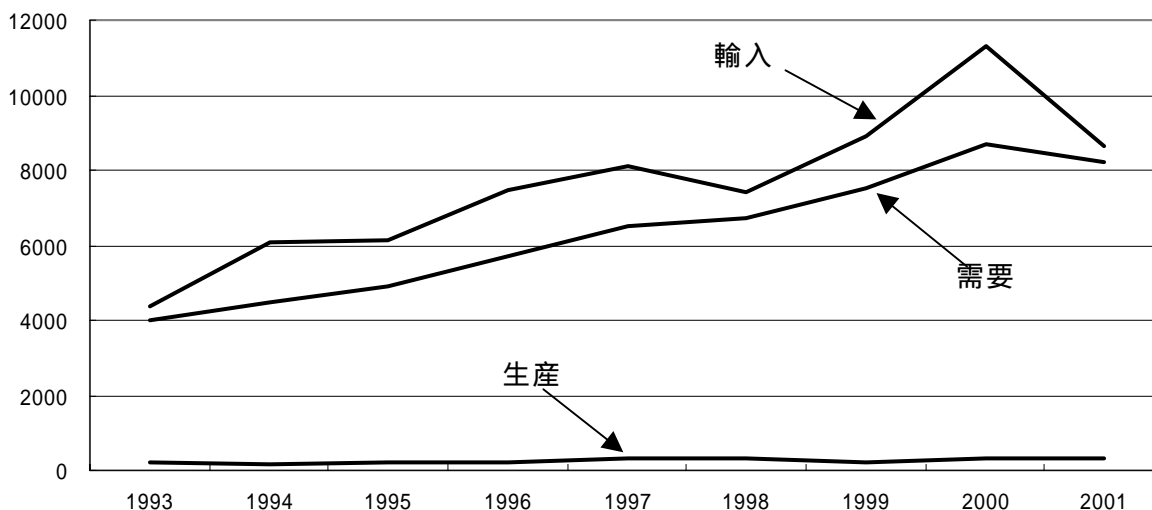


図 4.2 コバルトの需要・輸入・生産量

出典：三井物産

需要の増加率でみると、二次電池と有機酸原料、永久磁石、超硬工具の順で大きいですが、近い将来の安定供給を考えた場合、永久磁石と二次電池の需要が重要である。これらは、いずれも記憶装置、小型バッテリーなどの IT 関連機器の需要増加が背景にあると考えられるからである。なかでも二次電池は全需要に占める割合が 5 割を超えて伸びているが、今後も IT 関連機器は堅調な需要増加が見込まれるので、増加はつづくものと推察される。とくに、自動車用の二次電池がコバルト需要を急激に増加させることも考えられる。全需要に占める割合が減少しているのは VTR テープと触媒用途であり、とくに VTR テープの需要は減少してきている。需要の変化を 1996 年から 2001 年にいたる 5 年間の用途別需要の変化でみると、表 4.2 のようになる。

表 4.2. 1996 年と 2001 年の用途別需要の推移

	全需要に占める割合		需要の増加率
	1996年	2001年	
二次電池	39%	52%	123%
特殊鋼	18%	12%	12%
VTRテープ	13%	4%	-49%
超硬工具類	11%	9%	37%
永久磁石	6%	5%	39%
触媒	4%	2%	-16%
有機酸原料	4%	5%	109%
顔料・セラミック	3%	2%	12%
その他	2%	9%	653%

出典：三井物産

コバルト供給に関して留意すべきことは、副産物として生産されることと、生産量の多くをカントリーリスクの大きい国に依存していることである。コバルトは一部の銅鉱床やニッケル鉱床などの副産物として生産されるために、生産の自立性がなく、資源統計における鉱石生産量と金属生産量とは異なり、区別して考えなければならない。

コバルトの鉱山生産量と精錬量、消費量の推移を一つのグラフに表すと(図 4.3)、1992 年までは鉱山生産量と精錬量はともに消費量を上回っており、量的には安定した供給が可

能であった。しかしながら、1993年は消費量が精錬量を上回り、1994年には消費量が鉱石生産量と精錬量の双方を上回るというきわめて異常な事態が発生している。この絶対的な供給不足は、アメリカからの備蓄放出で毎年賄われているが、この間、このような事情を反映して、コバルトは高値安定で推移している。また、このことは、放出量をコントロールできるアメリカに価格支配力が移ることにもなる。当然ではあるが、この備蓄放出には限度があり、この状況がつづけば、2005年には底をつくと予測される(図 4.1b)。一方、コバルトの高値安定によって、ザイルやザンビアで廃棄されていたズリからのコバルト回収が採算性をもつようになり、新しいプロジェクトが始まり、新たに生産が開始された。なお、1995年以降、消費量は鉱山生産量あるいは製錬量に比べて、同等あるいはそれら以下となっており、異常事態は解消している。アメリカの備蓄残量、コンゴ、ザンビアのズリの量などは、今後の需給予測にきわめて重要である。

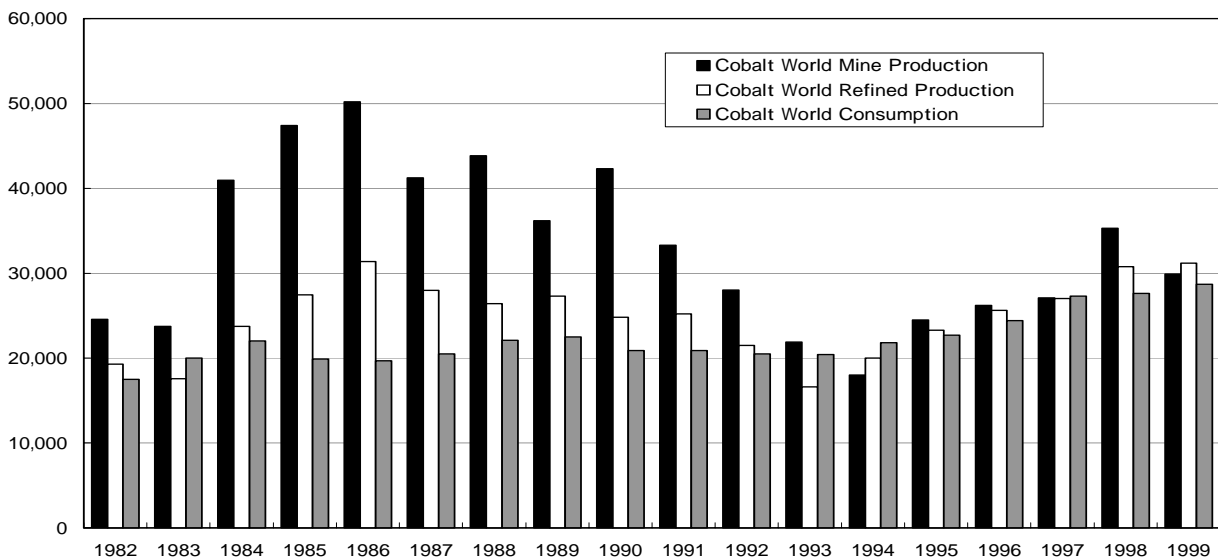


図 4.3 コバルトの鉱石生産量・精錬量・消費量

4.1.2 埋蔵量と偏在性

コバルトは偏在性の高い鉱物であり、2000年の埋蔵量で見ると銅ベルト鉱床のコンゴとザンビアで世界の50%を占めている(表 4.3)。これ以外では、キューバ、オーストラリア、ニューカレドニアのニッケル・ラテライト鉱床、カナダ、ロシア、オーストラリアの一部の正マグマ性鉱床の順である。

歴史的には、コバルトの回収は硫化鉱床を中心に回収が行われており、コバルト金属含有率が低い酸化鉱床のラテライト鉱床は、ニッケルとコバルトの性質がきわめて類似していることもあって、選鉱がむずかしく、利用されることは少なかった。しかしながら、最近になって、高温高圧下で酸やアンモニアを用いてニッケルとコバルトを効率的に溶かしだす H-PAL 法の採用が広がりつつある。したがって、今後はニッケル・ラテライト鉱床からの回収・開発が盛んになることも予想される。表 4.4 は鉱床別のニッケル生産の平均コストを比較したものである。

表 4.3 2000 年の埋蔵量 (1000t)

	埋蔵量	割合
カナダ	45	1%
キューバ	1000	21%
ロシア	140	3%
ザンビア	360	8%
コンゴ	2000	42%
オーストラリア	880	19%
ニューカレドニア	230	5%
その他	90	2%
合計	4,745	100%

出典：Mineral Commodity Summaries,

Bureau of Mines

表 4.4 鉱床別のニッケル生産の平均コスト(\$/lb)

	グロス	クレジット	ネット
坑内掘硫化物	2.6	1.0	1.6
露天掘硫化物	2.4	0.6	1.8
PALラテライト	2.2	0.9	1.3
その他のラテライト	2.3	0.1	2.2

出典：金属鉱業事業団

4.1.3 価格と市場規模

コバルト価格は、1990 年まで長期契約ではコンゴの GECAMINES とザンビアの ZCCM が発表する生産者価格をベースとし、スポット市場では Metal Bulletin 誌が発表している価格が指標となっていた。

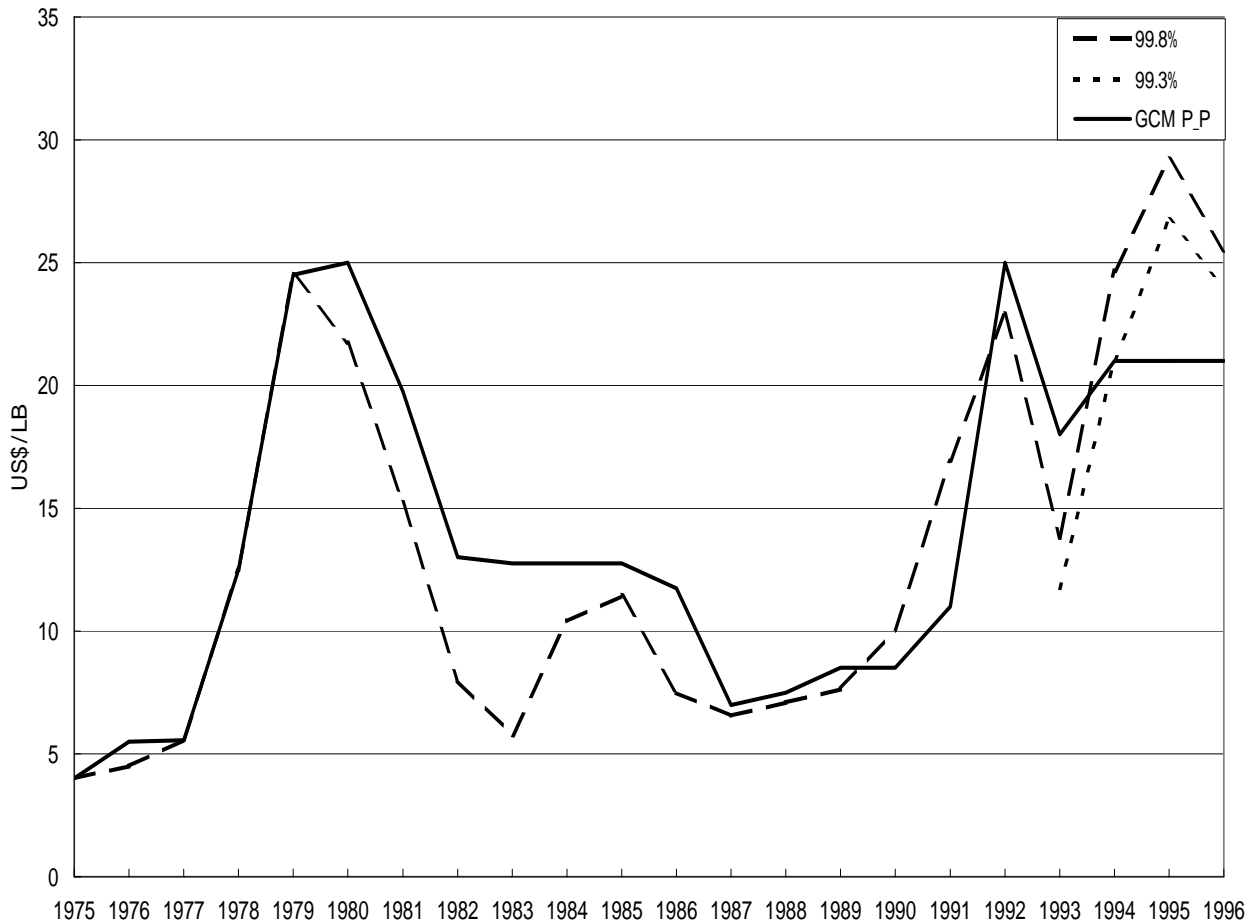


図 4.4 コバルト価格の推移

出典：Metal Bulletin

しかし、1980 以降の価格推移（図 4.4）が示すように、80 年代のはじめに安定したあとで 90 年から乱高下を繰り返している。これは大生産地であるコンゴの政情不安によるものである。このように価格が混乱したため、GECAMINES と ZCCM は生産者価格を参考価格に切り替えた。したがって、スポット価格が長期契約にも反映されるようになった。また、コバルトの市場規模はレアメタルの中では比較的大きい方で、約 7 億 5 千万ドル（980 億円）と見積もられる。

4.1.4 リサイクルと代替性

コバルトは、他の非鉄金属に比べて単価が高い金属なので、リサイクルは採算に合うケースが多い。コバルトスクラップで回収率が高いものとして、含有率が 60%の超合金や永久磁石、封着合金、蒸着材、超硬合金などがあげられる。

また、繊維、石油・化学プラントの使用済み各種触媒もほとんどが再生されている（表 4.5）。逆に回収がむずかしいものは、コバルト含有量がわずかな合金や特殊鋼、顔料、染料などである。

表 4.5. コバルトのリサイクル

出典：金属鉱業事業団

主な応用製品	利用形態	リサイクル率
VTRテープ	磁気テープのコーティング	0%
Ni-Cd電池	電極材料	40%
Ni水素・リチウムイオン電池	電極材料	0%
ガラス・陶磁器	顔料	0%
ガラス	添加剤	0%
ナベ、タンク	ホーロー下塗り	0%
電子機器	ソフトフェライト	0%
工作機械、鉱山機械	超硬工具	25%
一般工具、工作機械、航空機、タービン	切削工具、炉製品、エンジン部品	15%
	サマリウムコバルト系永久磁石	0%
音響機器、電子機器	アルニコ系永久磁石	60%
電子機器	蒸着材料	0%
石油化学用	触媒	90%
石油精製用	触媒	0%

4.1.5 供給の歴史的推移と供給限界

コバルトはカントリーリスクが大きく、シャバ紛争など政治的原因から世界のコバルト産業、供給構造は大きな影響を受けてきた。かつて、世界供給の過半数を生産していたコンゴでは1978年の第2次シャバ紛争以降急激に生産量が低下し始め、1990年に主力のカモト鉱山が崩落し、1991年に首都キンシャサで暴動が発生するなどの政情不安にともなってさらに生産量が低下した。過去のコンゴ一国に大きく依存した不安定な供給によって生じたコバルトの高値安定は、カナダやオーストラリアではニッケル鉱床からのコバルトの回収増をもたらした。この2つの時期に価格は5倍にまで高騰している。最近の10年間はコンゴのコバルト生産量が世界の生産量の50%を超えることはなくなっているが、なお、世界生産の25%を占めている。ズリからの回収が順調に進めば、生産量が増加することも考えられる。

一方、オーストラリアを中心として、低コストの新しい湿式精錬法が導入され、1998年にはCawse、Bulong（いずれもオーストラリア）などのラテライト鉱床の開発プロジェクトが計画されている。2002年以降に開発が予定されているプロジェクトをまとめると、表4.6になる。

表 4.6 2002 年以降に開発が予定されているプロジェクト

国	プロジェクト名	年産(トン)	開始予定
オーストラリア	Honeymoon Well	Co:900, Ni:30000	2004
オーストラリア	Yakabindie	Co:900, Ni:32000	2003
オーストラリア	Syerston	Co:4500, Ni:18500	2003
オーストラリア	Marlborough	Co:2000, Ni:25000	2002
オーストラリア	Ravensthorpe	Co:1300, Ni:35000	2003
コンゴ	Kingamyambo	Co:8000, Cu:42000	2004
コンゴ	Ruashi-Etoile Mine	Co:5000, Cu:80000	2002
カナダ	Voisey's Bay	Co:3200, Ni:123000	2004
フィリピン	Rio Tuba Nickel	Co:550, Ni:10000	2003
インドネシア	Weda Bay	Co:3000, Ni:30000	2004
アメリカ	Sunshine	Co:5400, Ni:54000	2002

出典：三井物産

4.2 安定供給の障害

4.2.1 背景

コバルトにはさまざまな用途があるが、とくに先端技術には欠かせない金属であり、IT関連機器は今後も堅調な需要増加が見込まれ、さらに太陽光発電や風力発電、電気自動車の実用化にともない二次電池の急速な需要増加も予想される。一方で、供給面では、この数年は消費量が鉱山生産量と精錬量を上回ることはなくなったが、副産物として回収される弱点をつねにもっている。アメリカの備蓄放出はつづいているが、この備蓄が底をつく時期も重要な問題である。

4.2.2 供給障害のシナリオ

コバルトはこれまでにたびたび供給障害を経験してきた資源であるが、教育効果はあがっていない。今後の需給関係は依然不安定である。供給面では、カッパーベルトへの依存が高く、カントリーリスクが高い。また、副産物として回収されているのでつねに供給限界が存在する。需要面では今後の二次電池の開発動向が問題である。さらに、資源開発の面では、ラテライトニッケル鉱床から効率のよいコバルトの回収と比較的コバルト含有量の多いニッケル鉱床の開発があげられよう。

5. タンタル

5.1 需要と供給

5.1.1 需給予測

タンタルの需要は、IT 機器の小型コンデンサに使用される粉末、光学レンズの添加材および携帯電話のノイズを除去する表面弾性波フィルターに使用される Ta₂O₅、超硬工具用添加材として使用される TaC がおもなものである。もっとも需要が多いのはアメリカで、世界の 35～40%を消費し、ついで欧州が 25～30%で、日本は 20～25%である。

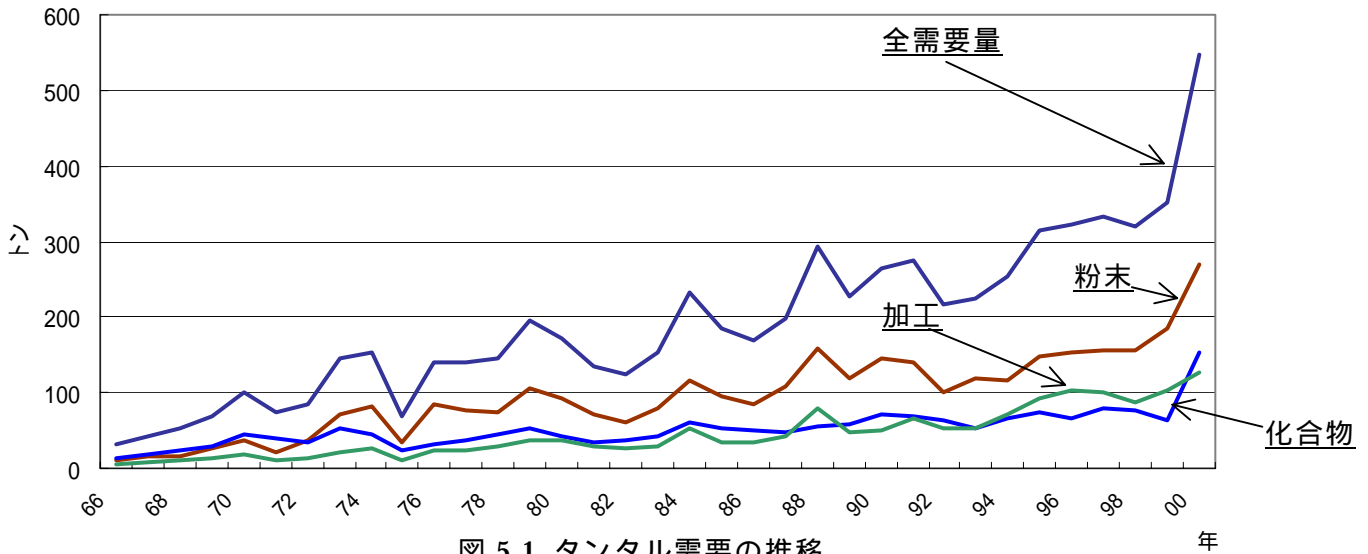


図 5.1 タンタル需要の推移

出典：新金属工業協会

図 5.1 に示すように、わが国のタンタル需要は伸びており、とくに 1999 年から 2000 年にかけての需要増は激しく 1.5 倍にもものぼる。これは、この数年、携帯電話やノート型 PC の急激な普及にともなうものである。

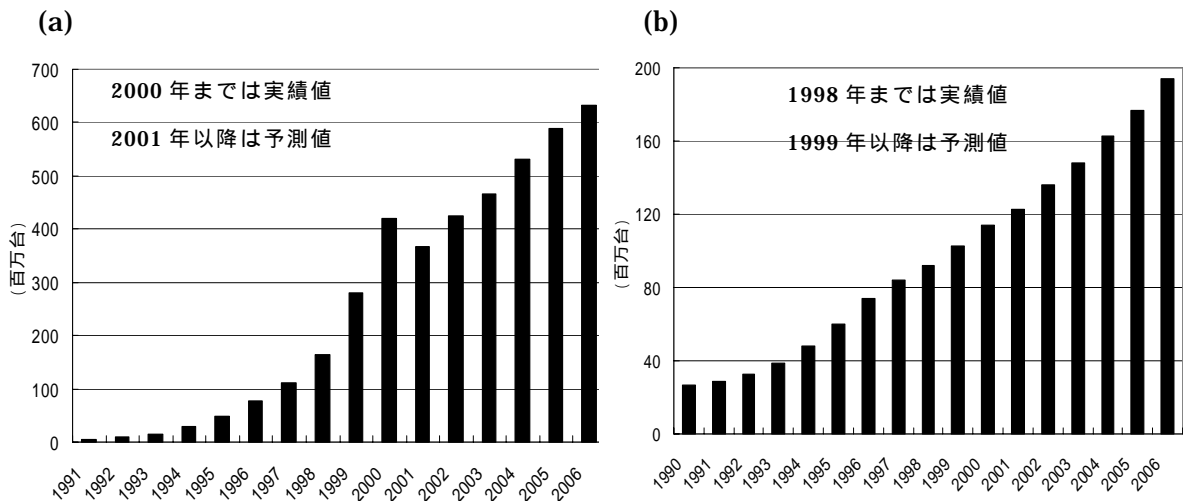


図 5.2 携帯電話とパソコン需要の推移

出典：新金属工業協会

(a)携帯電話 (b)パソコン

インターネット白書

今後も携帯電話とパソコンの需要は増加が見込まれており(図 5.2)、これにともなって、粉末タンタルの需要も伸びていくことが予測される。

5.1.2 供給の歴史的推移と供給限界

世界のおもなタンタル鉱山は表 5.1 に示すとおりであり、オーストラリアのグリーンブッシュ鉱山とワジーナ鉱山が生産の大半を占める。このほかにも、アフリカに数多くのタンタル資源が存在するが、資源探査が不十分のまま生産が先行している鉱山が多く、その実態は明らかではない。また、タイ、マレーシアの錫製錬所のスラグからもタンタルを産出するが、全体量に占める割合は少ない。

表 5.1. 世界のおもなタンタル鉱山

出典：三井金属資源開発

Country	Mine	Ore reserve base(t)	Grade (%Ta ₂ O ₅)	1999Production(t)
Australia	Greenbushes	21,252	0.023	315
Australia	Wodgina	10,930	0.041	190
Ethiopia	Kenticha	2,435	0.015	40
Canada	Tanco	4,536	0.216	70-90
Russia	Lovozero	7,000	N/A	50-70 (1995)

これまでの供給経緯をみると、欧米の中間製品生産者はグリーンブッシュ鉱山やワジーナ鉱山などの長期的に安定な供給が可能な鉱山を確保している。さらに、これらの鉱床に匹敵する埋蔵量があるマウントウェルト鉱床の開発計画もあり、これが将来開発されれば、供給の安定化に結びつくと考えられる。また、米国政府は戦略物質としてタンタル鉱石、金属塊、粉末、酸化タンタルを備蓄している。これに対してわが国では世界各地から調達してはいるが、いずれも短期的供給源であり、市場の動向を直接反映したものとなっている。したがって、2000年のような突発的な事態に際しては、価格高騰の波を直接受け、供給不可能の次回も起こしかねない。戦略的な視野に立った供給確保が強く望まれる。

2000年の価格高騰を受け、タンタル鉱石の増産計画や新規鉱山開発が活発化しており、確認されているだけでも80件にのぼるタンタル資源開発プロジェクトが進行しているが、多くは探鉱、プレ F/S 段階のものであり、プロジェクトの実現を期待するのは、時期尚早である。そのなかで、比較的有望なものを表 5.2 に示す。

表 5.2 主なタンタルプロジェクト

出典：新金属工業

Country	Project	Status
Australia	Dalgaranga	pilot operation
Australia	Mt.Weld	F/S
Canada	Separation Rapids	exploration, F/S
Brasil	Ptinga	planning
China	801Mine	developing

5.1.3 埋蔵量と偏在性

タンタルを産出する鉱床タイプには、ペグマタイト鉱床、花崗岩鉱床、アルカリ岩カーボナタイト鉱床、およびこれらの鉱床が風化した漂砂鉱床があり、オーストラリア、南北アメリカ、アフリカ、中国に分布している（図 5.3）。これらの鉱床は、タンタルを主体とする鉱床は少なく、リチウムやベリリウムなどのレアメタルの副産物として産出されるものが多い。錫製錬スラグからも一部回収される。アメリカ地質調査所によれば、2000年のタンタルの埋蔵量はオーストラリアで 25,000 トン、カナダで 3,000 トンとなっているが、探鉱が進んでいないのが現状である。その理由として、タンタルは、比較的近年になってから利用され始めたことや、需要が少量で、副産物として産出する量で需要を賄ってきたことが挙げられる。したがって、埋蔵量の算出も市場価格によって大きく変動している。たとえば、価格が高騰した 80 年ごろには世界で 65,300 トンの埋蔵量が認められていたが、1985 年には 3 万トンを割り、1999 年には 19,000 トンとなっている。なお、最近の価格高騰により探鉱がすすめば、埋蔵量は増加するものと思われる。

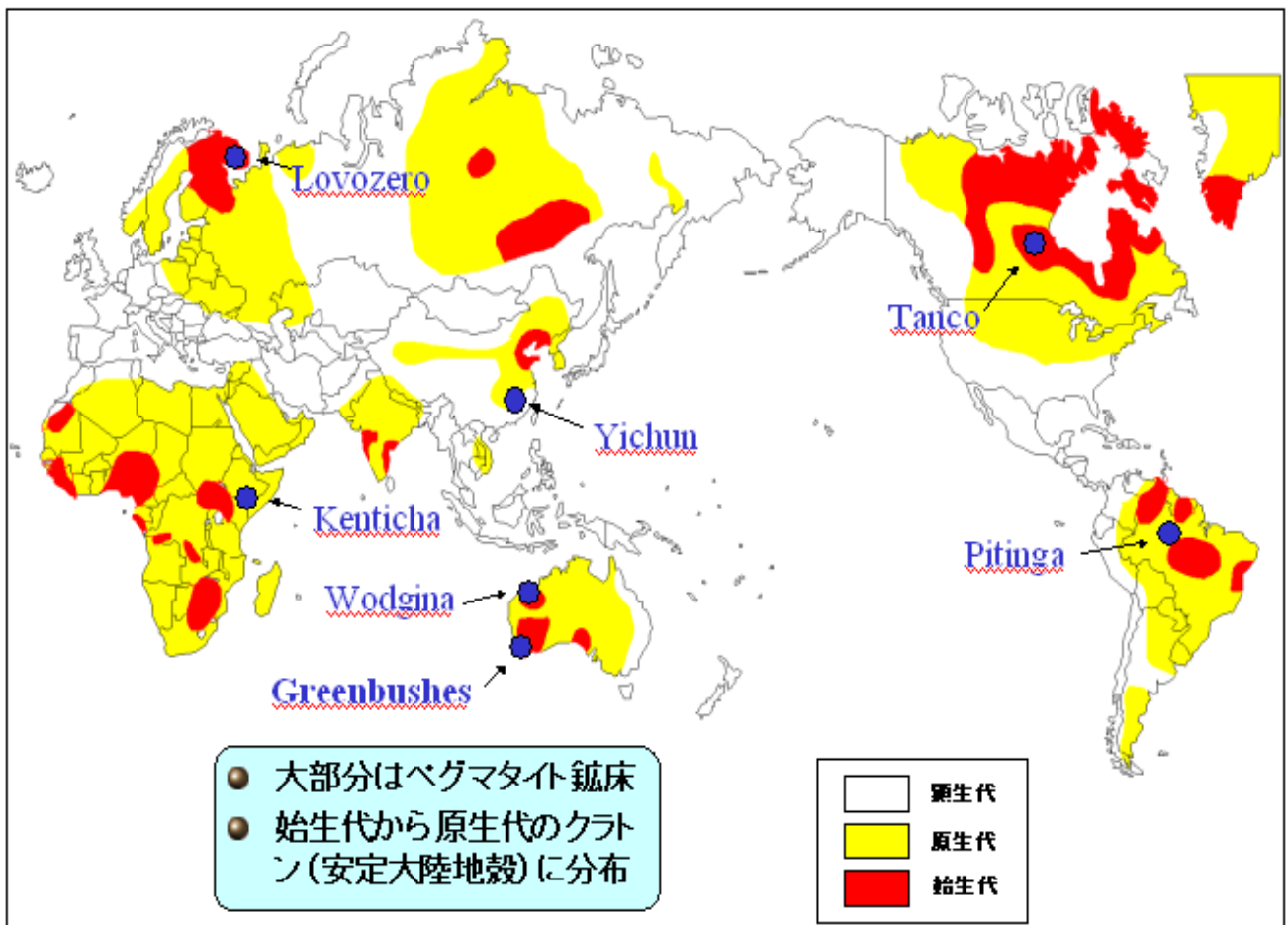


図 5.3 タンタル資源の分布

出典：新金属工業

5.1.4 価格と市場規模

タンタルの原料価格は原料生産者と中間生産者との交渉で決められるが、トレーダーの仲介も一般的である。2000年の夏以降、一時的な供給障害から、品薄感による思惑買いもあり、図5.4に示すように年末にかけて急激に高騰した。しかし、現在ではIT産業の停滞もあって、以前の価格近く（\$35-45/lb）に戻っているが、急速に構築された需給構造の姿を変えるようなものではないので、供給基盤はきわめて脆弱である。

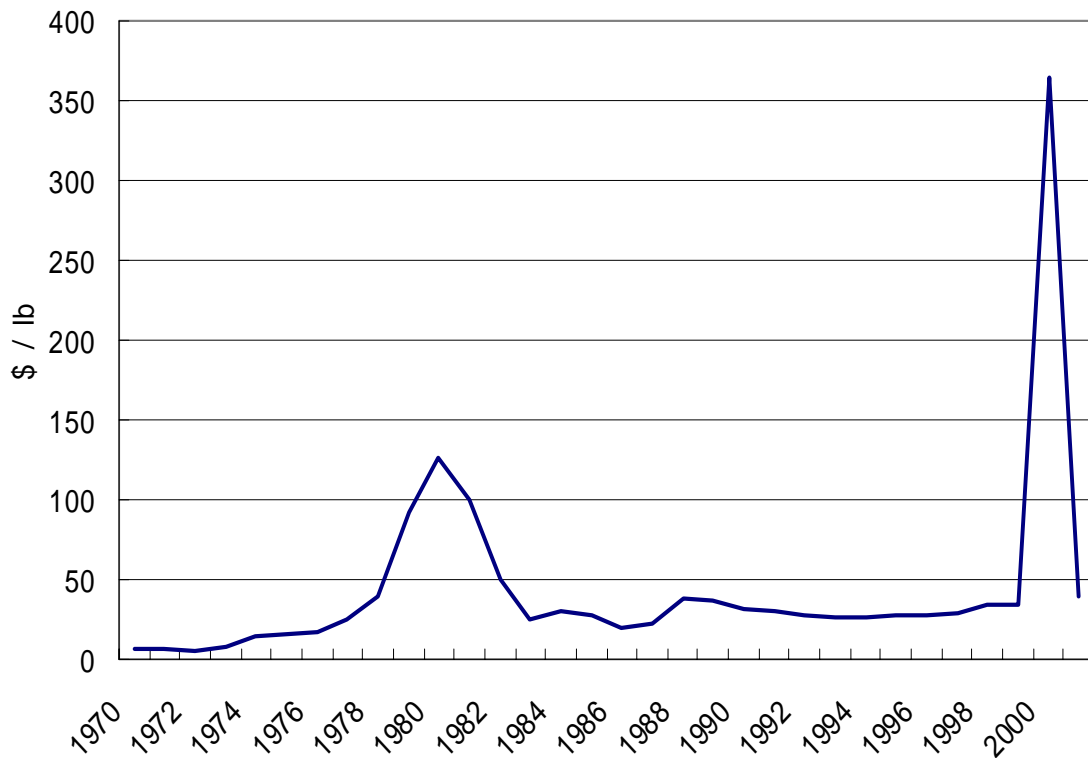


図 5.4 タンタルの価格推移

出典：Metal prices in the United States

また、タンタルの取引量はコバルトの約 1/15 であるが、市場規模はコバルトよりも大きく、約 25 億ドル（3,300 億円）程度と見積もられる。

5.1.5 リサイクルと代替性

タンタルの一次回収は製造工程では細かく管理され 95%以上がリサイクルされている。また、一般加工屑、コンデンサ不良品も、そのほとんどがリサイクルされているが、超硬工具については製造工程で発生したスクラップが数%リサイクルされている程度である。一方、製品として消費者に流通した携帯電話やパソコンからの二次リサイクルは進んでいない(表 5.3)。

タンタルの代替としては、コンデンサではアルミ電解コンデンサや積相セラミックコンデンサがあり、炭化タンタルに対しては炭化ニオブ、耐熱性用途にはタングステン、ニオブなどがある。しかし、性能の点で、代替には大きな限界がある。

表 5.3. タンタルのリサイクル

出典：金属鉱業事業団

主な応用製品	利用形態	リサイクル率
携帯電話	タンタルコンデンサ	数%以下
パソコン、テレビ、ビデオ、デジタルカメラ	タンタルコンデンサ	100%以下
真空熱処理炉	ヒータ・レフレクタ	100%以下
化学装置	熱交換器、他	100%以下
超硬工具	工具チップ	数%以下
SAWフィルター等	LiTaO_3 、単結晶	20～30%
成膜材料	スパッタリングターゲット	70%

5.1.6 環境問題と安定供給

希土類資源からのタンタル鉱物には放射性物質を随伴することも少なくない。通常は、製錬の時に無害化処理しており、この処理費用はペナルティとして価格に上積みされている。しかし、最近のような高値が続くと、放射能をともなう希土類資源からのタンタル抽出を急ぐあまり、環境問題がおおそかにされる懸念がある。アフリカなどの小規模鉱山での乱掘、採掘中断による廃石、廃さいの放置などは放射性汚染を引き起こす可能性がある。

5.2 供給障害のシナリオ

以上述べたように、タンタルの供給障害が起るシナリオはいくつかあるが、まとめると次のようになる。

まず、この2～3年の携帯電話およびパソコンの普及により、タンタルの需要は大きく伸び、異常な供給不足が起り、わが国のタンタル業者は原料価格の高騰と極端な原料不足に困惑した。現在では、IT産業の停滞により価格が下落し、小康状態を保っている。しかし、基本的な構図に変化はなく、供給構造は依然として脆弱である。あたらしいタンタル鉱山からの供給は少し先になる。したがって、IT産業の回復が早ければ再び供給不足から価格高騰と原料不足を引き起こし、経済復興を減速させることになる。回復が遅ければ新規鉱山からの生産により供給の安定化が図られ、極端な価格高騰とならず、IT産業への発展に貢献することが考えられる。

今後の探査結果をまたねばならないが、タンタル資源は地球化学的には将来発見可能な資源が存在すると思われるので、タンタルの需要が伸びても適切な予測のもとに開発計画が進められれば、近未来の需要は賄うことができ、大きな供給障害は起らないはずである。