鉱物資源枯渇と耐用年数*

——最近20年間の埋蔵量と消費の動き——

西山 孝¹ 安達 毅²

Lifetimes of Mineral Resources

—— Trends of reserves and consumption in the last 20 years ——

by Takashi NISHIYAMA¹ and Tsuyoshi ADACHI¹

1. Faculty of Engineering, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606

World production of widely used metals grew rapidly until the early 1970's, as expressed in The Limits to Growth (Meadows et al., 1972), but then metal demand dropped sharply after 1973. Growth rates in production of each metal varied year by year or among metals.

The difference between supply-demand forecast and actual production during last 20 years was examined. Different patterns between the two for 16 metals were classified into four groups.

- (1) The actual production of Co, Cr and Pt exceeded the projected trend that had been predicted in 1970.
- (2) Iron accounts for more than 95% of all metals consumed. A significant proportion of Mn, Ni, W, Mo, Cr and Co produced is used in the steel industry. This group, composed of iron and related metals other than Co and Cr, shows a similar pattern.
- (3) Growth rates of production of Cu, Zn, Ag, and Al continued to be low during the last 20 years, but the rates are not negative.
- (4) Growth rates of production of Pb, Au, Sn and Hg are negative or zero. Large differences between actual production and predicted consumption prevailed during the 1970–1990 period.

When the lifetime of these metals calculated in 1970 are compared with those in 1990, static indices of Au, Hg, Ag, Sn, Zn and Pb which fall in the range of 10–30 year, have not changed very much. No tendency toward depletion of the resources has been found under the present condition. New reserves have been discovered in the last 20 years. A basic question in the long-term supply is how long the present situation continue.

KEY WORDS: Resource, Forecast of the Supply-Demand, Depletion, Lifetime, Growth Rate, Reserve

1. はじめに

地球資源の需要量はやがて供給能力を越え、近代文明は終末を迎えるのではないかという懸念がしばしば指摘されている¹⁾。このように鉱物資源の消費が増大する主な理由として生活水準の向上と人口増加が考えられ、科学技術の発展による影響も大きい。

よく知られているように、国によって生活水準は大きく異なっており、それに伴って鉱物資源の消費量にも相違がみられる。たとえば1990年のアルミニウムの1人当たりの消費量をみると、日本(19.5 kg/人)とアメリカ(17.3 kg/人)が著しく高くなっているのに対し、中国、インドではそれぞれ0.57 kg/人、0.51 kg/人

と約40倍の格差になっている(図1)。世界の人口の1/2以上が住んでいる中国やインドの人々が、現在日本やアメリカの人々が享受している程度の生活水準にまで引き上げられたとすれば、莫大な金属資源の消費量の増加となる。また人口の絶対数も急激な増加が続いているので、このままの水準が維持されたとしても資源の消費は毎年新しく人口が増加した分だけ自ずからふえることになる。さらに、科学技術の発達も多量の金属消費をうながすことが多い。たとえばアルミニウムの1人当たりの消費量は40年前に比べてアメリカでは3.2倍、日本では5倍に増加している。これは機能性の良さと美観から土木建設の分野に、軽さと燃費の改善のために自動車にアルミニウムが多く使われるようになったことが大きく影響している。このような金属消費の増加傾向が資源統計にとくに顕著に現れたのは1960年代および1970年代前半であった。

1972年に出版されたローマクラブからの報告「成長の限界」¹⁾では、さまざまなシミュレーションが行われ、現状のように消費量が加速的に増加するならば技術文明は破綻することを示した。

* 1993年4月26日受理

1. 正会員 工博 京都大学助教授 工学部資源工学科

2. 京都大学大学院工学研究科資源工学専攻

キーワード: 資源経済, 資源予測, 資源枯渇, 耐用年数, 成長率, 埋蔵量

図1 1950年、1970年、1990年の国別1人当たりのアルミニウム消費量と人口^{2)・4)}

また、こうした事態を避け、持続可能な社会を築くためには一刻も早く零成長にすることを提案した。「成長の限界」のなかに記載されている鉱物資源についてみると、算出された耐用年数は、もっとも永いものはクロムの95年で、多くの金属が40年以下となり、金はもっとも短く9年となっている。これら半世紀にも満たない耐用年数は地球資源の有限性をあらためて喚起し、大きな反響を呼んだ。

しかしながら、鉱物資源をとりまいている問題は「成長の限界」に指摘されているほど単純な動きはしていない。たとえば金についてみると、耐用年数が9～11年となっており、金の鉱石はすでになくなっているはずである。しかし、この20年の間に金鉱石がなくなったという話は聞かない。かえって金価格の上昇が採鉱意欲を刺激し、世界各国で新しい鉱床が発見され、生産量もふえている。

そこで、過去20年間の鉱物資源がたどってきた動きと過去に予測された生産量、埋蔵量、耐用年数などの間にどのような隔たりがみられるか吟味した。対象とした産品は産業によく使われる金属鉱物資源のうち現在データベースの構築を終わり、資料の整っている16種の資源に限った。

2. 生産量の推移

まず、過去20年間の需要予測と鉱物資源の生産量の推移を比べてみよう。需要予測はいろいろな研究機関で試みられているが、そのなかで、アメリカ鉱山局の資料は多鉱物種にわたりもっともよく整理され、信頼性も高い。そこで需要予測はアメリカ鉱山局により各資源について5年ごとに試算された成長率を用いた⁵⁾。この資料では高および低の二つの場合を想定した成長率が示されているが、ここではその二つの値の平均値を算出された年の成長率とした。それぞれの成長率(表1)に基づく需要予測と現実にたどった生産量とを20年間について図示すると図2のようになる。図2では1970年の生産量を100としており、時代の推移にともなう動きは鉱物種によりさまざまである。そこで、これら鉱物種の1970～1990年の平均成長率と一般に使われている金属区分

表1 1970年から5年ごとに算出された予想成長率^{2)・5)}

		1970～90年				
		1970年	1975年	1980年	1985年	実際の平均成長率
Ⅰ	Co	1.6	3.3	3.0	3.7	3.2
	Cr	2.8	2.8	3.3	4.4	3.6
	Pt	3.5	3.0	2.6	2.7	4.0
Ⅱ	Mn	2.9	2.8	2.7	1.4	1.5
	Ni	3.5	2.6	4.3	3.0	1.4
	W	3.2	2.7	3.5	2.9	1.2
	Mo	4.2	4.4	4.5	2.5	2.0
	Fe	2.0	2.8	2.7	2.6	1.5
Ⅲ	Cu	4.7	3.9	3.9	2.7	1.8
	Zn	2.8	2.2	2.1	2.0	1.4
	Al	6.5	5.2	5.4	4.0	3.2
	Ag	2.8	2.0	2.3	2.1	2.3
Ⅳ	Pb	2.2	2.6	3.5	1.8	-0.2
	Au	3.2	2.6	1.4	1.8	1.2
	Sn	1.3	1.5	0.9	1.0	-0.5
	Hg	2.6	0.8	2.3	1.4	-3.2

とを参考にして、4つのグループに分けて検討してみた。

I. 1970年の予想成長率よりさらに高い成長率で生産量が伸びた金属

このグループは1970年に予想された生産量よりも最近の生産量のほうが大きい金属で、コバルト、クロム、白金があげられる。しかし1982年、1983年には急激な減少がみられ、コバルトとクロムはとくに著しい。5年ごとの予想値と実際の生産量とのずれおよび生産量の変動はコバルトがもっとも大きく、次にクロムで、白金は比較的安定した成長が認められる。

II. 鉄およびその副原料として使われる金属

鉄はすべての金属の中で最も多量に使われている金属で、全金属使用量のうち95%以上をしめている。また鉄は種々の合金をつくるため、クロム、モリブデン、ニッケル、マンガン、タングステン、コバルトなどが副原料として使われている。鉄の消費量が膨大であるために、これらの金属は鉄の消費動向に大きく左右されている。したがって、これらの金属は鉄合金用に使われた量とその他の用途に使われた量とに区別して検討するのが望ましい。しかし、このような目的に適した統計資料がみあたらないので、すでにのべたIのグループのクロムとコバルトを除き、鉄グループとしてまとめてみた。鉄、マンガン、ニッケル、タングステン、モリブデンがこのグループになる。1980年を境に大きな変化がみられ、それまで続いてきた増産傾向は、1980年以降増産と減産の繰り返しに変わり、全体として停滞傾向がみられる。最近の生産量は1970年の予想値とは大きくずれてきている。1970～1990年の平均成長率を求めると1～2%を示し、生産量の推移においても予想成長率の点からみても、これらの金属は鉄の動向と類似している。

III. 1970年の生産量より増加しているが、予想成長率よりも低い成長率をもつ金属

このグループには、原則的にIIグループも含まれるが、ここでは伝統的金属の銅、亜鉛、アルミニウム(ボーキサイト)および銀をまとめた。このグループは銅生産に顕著にみられるように生産量の年変化が小さく、安定した供給が行われているのが特徴となっている。5年ごとの予想成長率をみると、4金属ともに1970年の予想値よりは低くなっているが、1980年以降、銀では増加傾向が目立ち、銅と亜鉛では微増にとどまっている。アルミニウムは減産している年代も含まれるが、20年間の成長率でみると高い。

IV. 1970年の生産量に比べ減少あるいは大きな増加のみられない金属

このグループには鉛、金、錫、水銀がみられる。鉛では1975年以降減産が続き、1986年には1970年の生産水準以下となり、水銀、錫とともにもっとも大きく予想成長率から離れた金属である。最近の水銀生産量は1970年の生産量の半分近くに減少している。この鉛と水銀の減産は両金属のもつ人体への有害性のため、需要が落ち込んでいる。金は1980年頃までは減産傾向がみられ

図2 主要金属の生産量の推移と5年ごとの需要予測^{2) 5)}

表2 耐用年数の推移^{2) 5) 7)}

	静態的耐用年数					動態的耐用年数			
	1970年	1975年	1980年	1985年	1990年	1970年	1975年	1980年	1985年
Cr	420	72	339	97	114	54	39	76	38
Fe	240	141	109	91	66	74	57	51	47
Ni	150	80	80	65	56	43	43	35	36
Pt	130	98	172	126	195	43	46	65	55
Co	110	83	77	77	76	56	40	40	36
Al	100	224	244	234	194	31	49	49	59
Mn	97	74	52	36	37	28	40	32	29
Mo	79	75	83	55	52	30	33	35	35
W	40	47	50	60	59	25	30	29	35
Cu	36	55	64	41	37	25	30	32	27
Pb	26	41	35	26	21	21	28	23	22
Zn	23	22	26	24	20	17	18	21	20
Sn	17	48	42	15	28	17	36	36	14
Ag	16	20	24	18	19	14	17	19	16
Hg	13	19	23	22	24	10	17	18	19
Au	11	34	27	26	23	7	24	23	21

たが、その後は増産に転じ、1980, 1985年の予想成長よりも高い成長率で生産量が推移している。錫は政治的な要因から変動の激しかった金属で、全体として減少傾向がみられる。

3. 予想成長率の推移

多くの金属種では、現実の生産量と5年ごとに見積もられた予想成長との間に大きな開きがあることがわかった。そこで、予想成長率はこの20年間にどのように変化しているかを検討してみた。表1は5年ごとの予想成長率をまとめたもので、1970年と1985年を比べると、ほとんどの資源で予想成長率は下がっている。たとえば、銅では4.7%から2.7%に、アルミニウムでは6.5%から4%に下がっている。逆に、予想成長率が上がっている資源は、コバルト、クロムと鉄である。次に、どの時期に成長率の予想がもっとも下がったかをみると、第1次石油ショックの影響を強く受けた1975年の予測になっている。しかし、最近では再び予想成長率が上がる傾向がみられる金属が多い。一方、環境への悪影響が心配される金属は依然として予想成長率に減少傾向がみられる。また、国際通貨としての特別な役割を持った金と、国際協定の破綻が大きく影響している錫は独自の動きがみられる。

4. 耐用年数の推移

きわめて楽観的な資源の供給予測に、単純に埋蔵量を生産量で割って求めた静態的耐用年数が今も昔もほとんど変化していないことがしばしば指摘されている⁶⁾。そこで1970年と1990年の静態的耐用年数がどのように変化したかを比較してみた(表2)。まず、1970年の静態的耐用年数が短い資源(20年以下)、中間の資源(20~40年)、長い資源(40年以上)に分けてみると、1970年において20年以下であった、金、水銀、銀、錫はいずれも1990年の静態的耐用年数が1970年の時より1.2~2.1倍に延びている。これに対して、20~40年の耐用年数をもっていた亜鉛、鉛、銅は0.81~1.0倍で大きな変化はないが減少している。40年以上になると資源種によりまちまちで、0.27~1.9倍と幅広い。一方、成長率を考慮して算出された動態的耐用年数の推移をみると、1970年の時点で10年以下の短い耐用年数であった金と水銀は20年前後に延び、1970年に17年であった錫は一時的に36年まで上昇したが1985年では14年となっている。銀も14年から19年にまで延びたが再び16年に減少している。ベースメタルの銅、鉛、亜鉛では近年の成長率は低く15~30年の耐用年数が維持され、この20年間の動きは小さい。さらに、40年以上の耐用年数をもつ資源になると上下変動は激しいが、枯渇は他の資源に比べて先の

ことになるので、大きな問題とはならない。

これらのことから、この20年間の動きをまとめると、耐用年数の短いことが価格の上昇、鉱山の持続などに直接あるいは間接的に反映され、探索努力をうながした。その結果、幸いにも多量の新しい埋蔵量が獲得されたといえる。しかし、1970年において静態的耐用年数がもっとも短い20年以下の資源がやや伸びているのに対して、20~40年の耐用年数があつたベースメタルの一部がもっとも低い耐用年数になったことは注目される。

5. この20年間の鉱石の発見量

このように、1990年の資源の供給状況は1970年に予測されたような厳しい局面を迎えていない。それは、すでに述べたようにこの20年間に新しい鉱石が消費量に見合うだけ、あるいはそれ以上に発見

されたからである。そこで、各資源についてこの20年間に獲得された鉱量と消費量の面から検討してみよう。図3は、アメリカの鉱山局の資料から1970年の埋蔵量と1970年の埋蔵量にこの20年間で獲得された鉱量を加えた量、さらにこの20年間に消費された量を表したもので、1970年の埋蔵量を1としている。もっとも変化の大きいのは金で、消費量はすでに1970年の埋蔵量の2.4倍に達し、埋蔵量は1970年の5倍近くがこの20年間に新しく追加されている。一方、対照的なのは鉄で、膨大な量が消費され埋蔵量は減少しているにもかかわらず、消費量と埋蔵量の比率が小さく、埋蔵量には十分な余裕があるため大きな問題は存在しない。

その他の金属では、まず白金、銀、アルミニウムは1970年の埋蔵量の2倍以上の鉱石が発見されており、タングステン、水銀、亜鉛、錫では1970年の埋蔵量にほぼ匹敵する鉱量が追加され、コバルト、クロム、マンガン、銅、鉛、モリブデンでも埋蔵量の増加がみられる。しかし、ニッケルとすでにのべた鉄は減少している。またこの20年間の消費量をみると、1970年当時あつた埋蔵量以上に採掘がすすんだ金属には、金のほかに銀、水銀、亜鉛、錫がある。鉛は8割程度である。白金、アルミニウム、コバルト、クロムは生産量の推移で見たようにいずれも高い成長率をもった金属で、この強い需要増加指向が探鉱を刺激し、消費量に比べ多量の鉱石の発見をもたらしたものと考えられるので、消費量の比率はたいへん低く、獲得鉱量の比率は高くなっている。すなわち、消費の伸びに探索活動が敏感に反応していることがわかる。

「成長の限界」では、これから新しく発見されてくる鉱石量に対して、1970年の埋蔵量を機械的に5倍にした量を見積り、試算が繰り返されている。しかし、この5倍という目安はこれまでみてきたように金ではこの20年ですでに達成されている。これは、活発な探索活動に加え、新しいタイプの金鉱床の発見と金回収法

図3 1970~1990年の間に獲得された鉱量と消費量^{2) 7)}

の改良が重なったからである。しかし資源種ごとに鉱床の成因、探査方法、選鉱法などが異なるので、他の資源種が金と同じように考えてよいかどうかは疑問である。鉱床学あるいは地球科学的観点から推察すれば1970年の埋蔵量の10倍や100倍も可能と思われる資源も存在するが、5倍にするにも大変困難をともし、多大の努力を必要とされるものもある。したがって、どの資源も単一の水準で考えるのは基本的に無理があり、もっと詳細な検討が各資源種ごとになされるべきである。

6. お わ り に

この20年間の鉱物資源の現実の動きからみる限り、1970年代に危惧されていたような明日にも鉱物資源が枯渇してしまいそうな厳しい状況にはならなかった。このような違いが生じた理由として、まず1960年代、1970年代前半にみられるような鉱物資源の消費の増加は異常であり、最近の成長率は一般に小さくなっていることと、埋蔵量が比較的順調に増加していることがあげられる。また各資源ごとに分析するとそれぞれかかえる問題点は異なり、まとめて論ずることは困難な状況にあることがわかる。

しかしながら、ここで述べた資源統計を主とした事柄は地球科学的な事実から裏付けされているものではない。すなわち、これまでに地球科学的根拠から推察されている資源枯渇⁶⁾などについての考え方を否定するものではないことに留意する必要がある。

引 用 文 献

- 1) Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. and Behrens III, W.W. : The Limits to Growth, (1972) New American Library
- 2) 資源・素材学会資源経済部門委員会：鉱物資源データベース、1991年度版、(1992)
- 3) United Nations : Monthly Bulletin of Statistics, Vol. IX, No. 7, (1955)
- 4) United Nations : Monthly Bulletin of Statistics, Vol. XXX, No. 9, (1976)
- 5) U. S. Bureau of Mines : Mineral Facts and Problems, (1970, 1975, 1980, 1985), U. S. Government Printing Office
- 6) 西山 孝：鉱物資源の現状、(1989), アルム出版社
- 7) U. S. Bureau of Mines : Mineral Commodity Summaries, (1970-1990), U. S. Government Printing Office