

■ 論 説 ■

米国における金属資源について

Metal Resources in the United States

岩 崎 巖*

Iwao Iwasaki



1970年代の鉱山冶金業界は需給の逼迫、価格の急騰、国家の安全保障への懸念など活気に満ちた10年間であったが、1980年代に入って世界的な生産設備の過剰と国際収支に追われる第三諸国よりの過当競争によって低迷する価格に悩んでいる。その上一般産業の構造改革と技術革新によって主要金属の消費傾向に強い影響がでてきていることにも起因している。

数年前、「鉄と鋼(1981)」に「アメリカにおける鉱物資源開発の動向」¹⁾と題して主として1970年代に資源危機に関する記事が多く見られた時期の動向について解説したが、ここでは変遷しつつある米国の金属資源に対する考え方についてその後話題になっているトピックスを紹介することにする。

産業の構造改革

鉱物資源に比較的恵まれてきた米国も金属資源は低品位鉱が多いため、近年需要の減少と国際競争力低下に伴う第三諸国からの輸入の増加に鉄、非鉄業界は大変な苦境に立たされている。一般の失業率は7%に回復している現在、鉱山冶金業界は1981年以来、雇用人員の18%、すなわち60万人の整理を余儀なくされ²⁾、産業の構造改革が急速に進行している。1984年12月17日発刊の Business Week 誌の表紙には The Death of Mining との大見出しで銅鉱山の75%、鉄鉱山の40~50%が消滅する兆候が見えるという記事が掲載されて、技術革新、設備更新による国際競争力の間断ない養成の重要さが広く討議されるようになった。

その後産銅各社では大巾な合理化が行われて、その記事で廃山とまで決めつけられた Phelps-Dodge社は銅価格がポンド当り65セントでも経営が成り立つよ

うにと銅生産を中心とした経営強化、事業の多角化を行い、今や産銅業界のスターとなっており³⁾、二年前に死の宣告を下した Business Week誌も1987年1月5日号には同社を早くも株式投資のチャンスと取り上げているのは興味深い。

この合理化の中心となった技術は酸浸出—溶媒抽出—電解(SX/EW)法であって、この技術は利息、償却費を含めてもポンド当り30セント以下の操業費とすることで充分第三諸国からの低価格の輸入とも競争が可能であり、技術革新の重要性をよく示していると思われる。このSX/EW法は米国西部の銅鉱山で広く採用し始めており、米国の銅の%を産出するアリゾナ州では近く Phelps-Dodge社の Morenci鉱山、Magma Copper社の San Manuel鉱山、Kennecott Copper社の Ray鉱山で操業を開始して、SX/EW方式による産銅量は現在の15%から25%に増え、1990年には30%にまでなる予定とのことである⁴⁾。エネルギーコストが上昇するにつれて従来の磨鉱浮選による選鉱製練には益々高品位鉱が要求され、中品位、低品位鉱は酸浸出処理に廻されることになると予想されている。ただしSX/EW法は現在酸浸出速度の早い酸化銅鉱石を主に対象としており、多量に賦存する硫化銅鉱石にはバクテリアリーチング等浸出速度を促進する方法の開発が望まれることになる。

一方鉱山によくみられる単一産業の小都市が一度閉鎖された職場を再開しようという決意で解雇された従業員を一致団結させ、州政府の融資、労資の協調、賃金の譲歩、生産性の向上を通して設備の更新なしでも操業を再開した例が出現している。ミシガン州の White Pine 鉱山、モンタナ州の Butte 鉱山の成功は注目されている例であろう。Kennecott Copper社の Utah Copper Division も銅価格の低迷期でも採算のとれる操業をと設備更新に4億ドルを投資して1988年完成予定で再開すると報道されている。一部一次産業の近代化に悲観的な意見があるけれども⁵⁾、同社の今後の

* University of Minnesota, Department of Civil and Mineral Engineering, Professor of Metallurgical Engineering.

Mineral Resources Research Center, 56 East River Road, Univ. of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455, U.S.A.

成果に期待したい。

鉄鋼業については製鋼能力が最高であった1973年の1億6千万トンより老朽設備を整理して、現在1億1千万トンとなり、その間雇用人員も60万人から20万人以下に減っている。1986年の粗鋼生産量は8200万トンであったが、ミニミル、特殊鋼メーカーのシェア35%を差引くと一貫製鉄所の粗鋼生産は5300万トン前後にまで減少したことになる。これまで製鉄所の近代化には相当額の投資を行ったにも拘らず社内改革の配慮から部分的な近代化にとどまり、一貫しての近代化を行わなかったため抜本的な構造改革の必要に迫られている。資本不足の現在、起業費の高い高炉一転炉によらない製鉄法の開発とともに、各社毎の改革よりも米国鉄鋼業全体としての再編成が必要であろうという提案も存在している⁶⁾。

この米国鉄鋼業の衰退によって鉄鉱石生産も大巾に減少した。かつて鉄鉱石全消費量の75%を供給してきたミネソタ州 Mesabi 鉱区の直接鉱が枯渇に面した折、我々の研究所(Mines Experiment Station, 現 Mineral Resources Research Center)で開発した磁性タコナイトの選鉱とペレタイジング技術は1955年 Reserve Mining社で企業化され、資源量であった磁性タコナイトを埋蔵量に変えて同鉱区を再建し、技術開発の意義を実証した。その後ミネソタ州のペレット

生産能力は八工場6500万トンにまで拡充され、1979年には最高年間生産量5700万トンを記録したが、最近二工場が閉鎖され生産量も3000万トン前後となって残る六工場も大巾な合理化を迫られている。それに伴って雇用人員も最高時の17000名から現在5600名に減っている。でもここで注目すべきは現在操業率が50%前後で低迷しているとはいえ、選鉱比3の磁性タコナイトでは1億トンの鉱石処理が必要で世界有数の一大産業であり、米国鉄鋼業の使用鉱石の約50%を供給しているということである。しかし鉄鉱石輸入も漸次上昇し年間1500万トンを越えており、ブラジル Carajas 鉱山の年間生産能力3000万トンの操業開始は Mesabi 鉱区の将来を脅かし、一層の国際競争力の強化が要望されている。

最近よく耳にする見解としてその昔米国は農業社会から工業社会へと移行し、農村労働者は都会の工場へと転職して行ったが、現在は再び社会の構造改革が起りつつあって雇用のサービス、ハイテク産業への移行は歴史の流れという考え方である。しかしかつての農村労働者の転職は農業の衰微、農産物の輸入とはなら

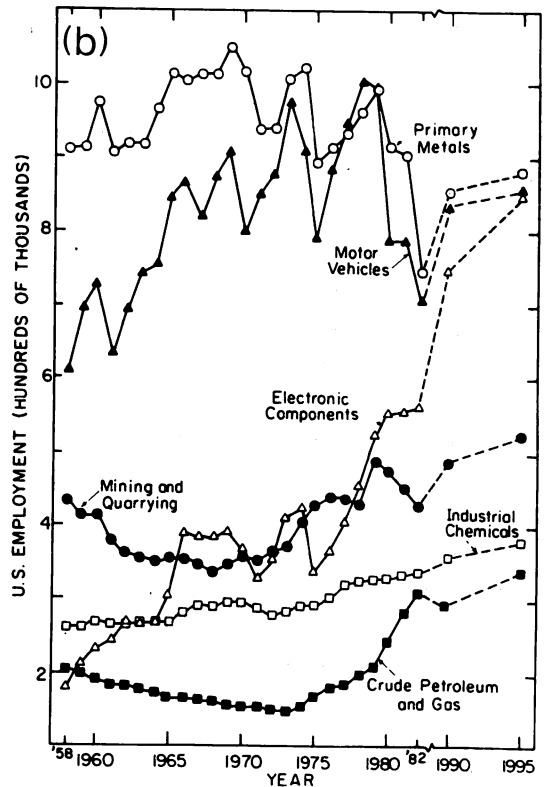
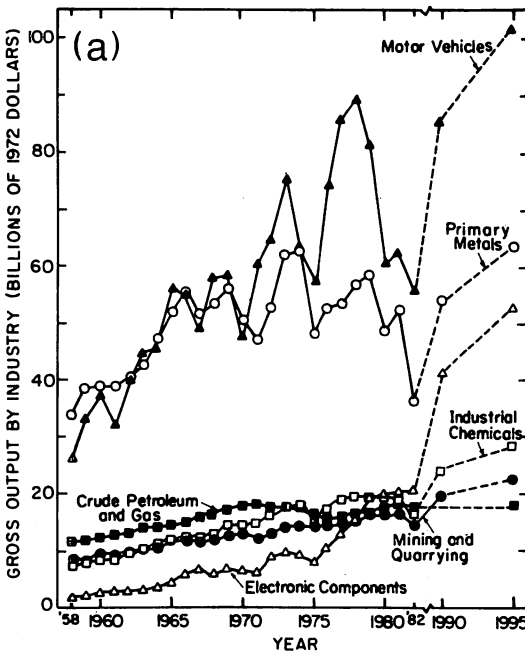


図-1 GROSS OUTPUT(a) AND EMPLOYMENT(b) OF THE U.S. INDUSTRIES (Evans and Szekely, 1985)

ず、かえって都会の工場で生産した農耕機械、農化学製品の使用により生産性は大巾に向上し、又食料品産業の発達へと進展した⁷⁾。言いかえれば、米国の農業は自動化することによって高い生産性を達成するとともに全世界への農産物の輸出国となってきた。

この考え方は現在の一次産業へも適用すべきことではなからうか。今後も米国産業の空洞化によって企業の経営を合理化するのではなく、ハイテク技術を広く取り入れて付加価値の高い製品、新しいプロセス、新製品、新素材などへ多角化し健全な一次産業を維持すれば、一次産業への供給また一次産業よりの製品の販売サービス業を通して雇用に貢献できる筈である。

これまでこの数年間における鉱山冶金業界の生産と雇用の推移について銅と鉄鋼を例にとり述べてきたが、その産業規模の統計をハイテク産業と比べてみると図-1のようになるという興味深い報告がある⁸⁾。エレクトロニクス部品産業は現在最大のハイテク産業の一つと考えられているにも拘らず、生産額雇用人員共に鉱山、冶金、自動車産業に比べて、その中で一番小さい鉱山採石産業に最近追いついたばかりで、冶金、自動車とは格段の差があるということである。それ故これらの一次産業は雇用面でも経済面でも重要な役割を果

しているのであって今後技術革新、設備更新を通して再建をはかり、確かに雇用面ではサービス、ハイテク産業への移行は生産性の向上に避けられないことではあるけれども、農業の構造改革時の例のような近代化に導きたいものである。

鉱物資源の埋蔵量

1973年のオイルショック以来鉱物資源の枯渇が差迫っているという意見、又それとは逆に資源は科学的な新発見新技術の開発により必要に応じて作り出されるのであって枯渇ということはない⁹⁾という意見も出現している。そこで鉱物資源の将来予測について少し検討してみることにする。

鉱物資源の将来予測を考えるには Reserve Base 生産量、消費傾向などについての情報が必要となる。Reserve Base とは確定並に推定埋蔵量、marginal reserves, subeconomic resources を含む資源量と定義される。米国並に世界の主要金属資源の Reserve Base と消費量又は生産量の比の一例を表1に示す¹⁰⁾。「成長の限界」に使われて差し迫った資源の枯渇の警告を論じたデータは確定埋蔵量であった上消費の指数関数的な増加を仮定したた

表1 Reserve Base/Consumption or Production Indices for Metals in the U. S. and in the World (Cameron, 1986).

	U. S.			World		
	Reserve Base ^a 1984	Average Consumption Primary Metal 1974-1984	Reserve Base/Consumption Index 1984	Reserve Base ^a 1985	Production ^a 1980	Reserve Base/Production Index
Magnesium		92.5			181,600	
Molybdenum	5,900	28	211	12,975	120	108
Iron Ore	24,800,000	20,000	207	231,056,000	1,090,432	108
Copper	90,000	1,755	51	562,000	8,421	67
Zinc	53,000	1,036	51	319,670	6,340	50
Lead	27,000	661	41	148,810	3,885	38
Tungsten	320	9.6	33	3,813	60	63
Vanadium	240	7.6	32	18,250	40	456
Cobalt ^b	192	7	27	9,200	33	279
Nickel ^c	2,800	160	18	111,000	850	131
Antimony	100	14.9	7	5,175	74	70
Mercury ^d	200	35	6	7,200	191	38
Aluminum	12,000	4,881	2	24,581,000	99,165	248
Tin	55	44	1	3,307	272	12
Chromium	0	485	0	7,540,000	10,725	703
Manganese	0	1,115	0	12,000,000	29,000	414

a. Thousands of tons, except mercury.

b. The cobalt reserve base consists entirely of subeconomic resources.

c. The nickel reserve base consists largely of subeconomic resources.

d. Thousands of 76-pound flasks.

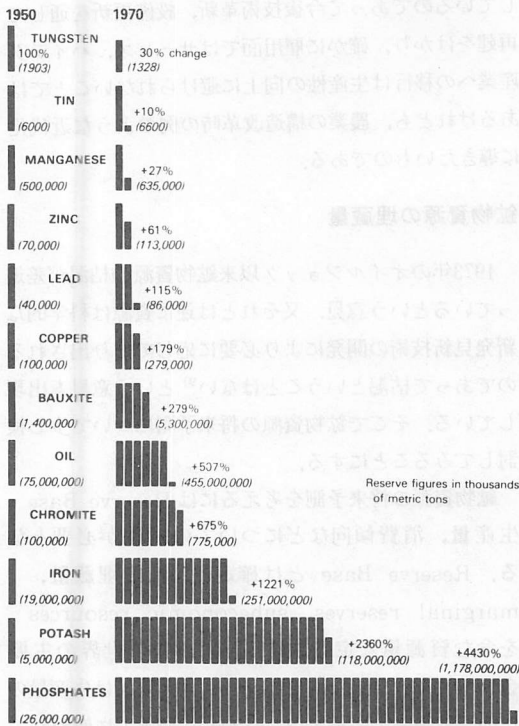


図-2 KNOWN WORLD RESERVES OF SELECTED NATURAL RESOURCES, 1950 AND 1970 (Simon, 1981)

め可採年数が益々短縮されて早晩に枯渇するような衝撃を与えたが、この確定埋蔵量は現在の技術で経済的に採取できるいわゆる在庫量であり、必要に応じて探査や技術開発への投資によってつくり出されるものである。現に鉱物資源の需要が急速に伸びた1950～1970年の20年間に各種鉱産物の埋蔵量が急速に増えた例を図-2に示す。

鉱床の地学的成因についての新しい知見が新鉱床の発見につながる例はこれまで幾多見られてきた。例えばプレートテクトニクスの理論の裏付けが海底探査でえられてから海底火山活動に起因する複雑硫化鉱（黒鉱）鉱床の発見となったことはカナダの Kidd Creek 鉱山を始めよく知られていることである。又カナダのオンタリオ州では Greenstone Belt で総額40億ドルにのぼる20種類以上の鉱物資源を採掘しているが、その南に接するミネソタ州も同じ岩石層から成っているので同様な鉱床の存在する可能性は充分あると考えられている。しかしミネソタ州はその90%が厚く表土におおわれているため地表探査ができずその全ぼうは不明であるが、州北部の表土の薄い地域では現在稼行中の鉄鉱床と低品位ではあるが銅ニッケルの大鉱床が発

見されている。このような例は米国内のみならず世界の大部分についても言えることで、今後探査新技術の開発によって更に埋蔵量資源量が増すであろうことは想像に難くない。

そこで常識的に考えても地下資源には限界があることは確かであるが、今後の科学的な新発見、新技術の開発により危惧されている程早急に枯渇するものではないと考えるべきであろう。そして将来オイルショックのような事態を避けるためにも今後新知識の追求、新技術の開発が重要な課題となる。

鉱産物の備蓄

米国の鉱産物消費量は現在年間2400億ドルを越えているが、低品位の国内鉱、環境対策、高賃金による国際競争力の低下に伴って鉱産物の生産は1970年を頂点に漸次減少の傾向にあり、生産と消費の開きは益々大きくなって1986年の鉱産物一次産品の輸入は390億ドルに達している²⁾。

昨年度の米国の品目別海外依存度をみると50%以上を依存しているものが21品目、90%以上を依存しているものが10品目となっている。主要輸入先に政情不安定又は共産圏諸国へ依存している鉱産物のうち特に国内資源に乏しい(表1参照)クローム(海外依存度82%)、コバルト(92%)、マンガン(100%)、白金(98%)が戦略物資として重要視されている。この四品目の主要生産国のシェアを図-3に示した¹⁾。

産出国での内乱や政変、天災やストライキなどによって供給が途絶したり、戦略的な武器として供給制限が行われて国防用のみならず、一般経済活動に支障を来たすような事態が起きた場合の対策として、(1)国内低品位資源の開発、(2)代替材料の開発、(3)戦略物資の備蓄、の三政策の是非を議論する報文が多々見られている。結局国内資源殊に低品位鉱の開発研究は非常事態が発生した場合、鉱山の開発に数年はかかるため時間的な制約があり、一方休止設備の維持又は政府による価格保証を設けての操業では市価以上の高値で買付けが必要となる。又代替材料の開発にしても代替品はより高価につか性質が劣る場合が多く、その上非常事態になってからでは開発や実用化が時間的に制約されるであろう。そこで備蓄が最も経済的な政策という結論になっている¹²⁾。

米国の備蓄政策は1939年に法案化されたが第二次世界大戦後、朝鮮戦争に刺激されて急速に備蓄が始められた。初期には5年分の戦略物資の備蓄を目標とした

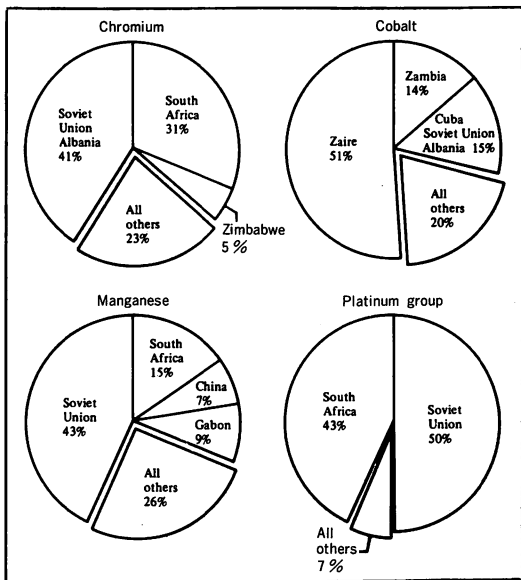


図-3 MAJOR WORLD SUPPLIERS OF FOUR CRITICAL MINERALS (Fletcher and Oldenburg, 1986)

が、その後1958年には3年分、1973年には1年分、そして1979年には再び3年分と目標を何度か変更してきている。その間4回戦略物資の供給が途絶又は妨害された例があった。1949年のソ連によるベルリン封鎖に続いてマンガンとクロームの輸出停止、1966~1972年の国連政策によるローデシアからのクロームの輸入禁止、1969年のカナダのストライキによるニッケル供給の一時停止、1978~79年のザイール鉱山地区への反乱軍の侵入によるコバルト価格の高騰であるが、どの場合にも備蓄物資は利用されなかったとのことである。その代りこの戦略備蓄は国防上の非常時用として設定されているのにも拘らず1950~1979年の間に鉛、亜鉛、錫などを価格安定用に使ったり、又政府予算の均衡化用として使ったことがあったのでその必要性を疑う意見もある¹³⁾。

1985年には戦略物資の備蓄を近代化する目的で3年分を目標に総額67億ドル分の備蓄をするという提案がなされたが、未だ国会で可決されていない。この提案で興味ある点は将来の国防用ハイテク物資の備蓄を検討すべきである²⁾と強調していることであろう。

金属資源の再生

再生は省資源であるばかりでなく省エネルギー、廃棄物による環境問題対策などの理由でその重要性が増してきている。都市廃棄物は年間1.4億トン、スラグ、スクラップ、粉じん、尾鉱などの鉱工業廃棄物は20億トンを越すと言われている^{14,15)}。

一次金属の生産に要するエネルギー量はスクラップを再生して溶解した場合に比べて、アルミニウムでは20倍、銅では6倍、鉄鋼では2.5倍となっているので、オイルショック直後にはスクラップの輸出はエネルギーの輸出であるとの見解がしばしば聞かれた一時期があった。一方廃棄物による環境汚染に対してEPA(環境庁)の基準、Hazardous Wastesの埋立規制が厳しくなりつつあり、有害成分の除去と有用成分の再生への関心が高まりつつある。表2に再生による省エネルギー、環境対策への利点を示したが、鉄鋼スクラップ再生の例をとってみると、粗鋼トン当り11kgの粉じんと11000kgにのぼるMining Wastesの軽減になるとのことで環境対策への影響がよくわかる。

U. S. Bureau of Minesは1982年よりネバダ大学にMineral Industry Waste Treatment and Recovery Centerを設置し、年額75万ドルの予算で開所し、現在十大学に支所を設けて、尾鉱、スラグ、粉じん、スラッジ、触媒、酸洗廃液などの処理について研究を進めている。また1985年にはRecycle and Secondary Recovery of MetalsというシンポジウムがAIMEの主催で開かれ、主として鉱工業廃棄物の乾式、湿式、電気冶金、選鉱的手段の適用について65

表2 Environmental Benefits Derived from Substituting Secondary Materials for Virgin Resources.

Environmental Benefit	Aluminum	Steel	Paper	Glass
Reduction of Energy Use	90-97%	47-74%	23-74%	4-32%
Reduction of Air Pollution	95	85	74	20
Reduction of Water Pollution	97	76	35	—
Reduction of Mining Wastes	—	97	—	80
Reduction of Water Use	—	40	58	50

(Pollock, 1987)

表3 Various Commodities Currently Recovered and Recycled in the U. S. (Agarwal, 1985)

COMMODITY	ANNUAL AMOUNT IN MILLIONS	GROWTH % PER YR	REVENUE \$ x 10 ⁶	ADDED VALUE \$ x 10 ⁶
Steel	30-40 tons	2.0	9 - 12,000	6 - 8,000
Gold	2.6 - 3.0 troy oz	9.0	1,200	200
Aluminum	1.5 - 2 tons	2.5	1,200	200
Copper	1.4 - 1.5 tons	1.5	700	150
Silver	55-65 troy oz.	5.0	670	100
Superalloys	20-25 lb.	15.0	200	30
Germanium	0.19 - 0.2 lb.	6.0	96	10
Titanium	20-22 lb.	10	55	10
Gallium	0.018 - 0.02 lb.	50	6	3

の論文が提出された¹⁶⁾。

米国のスクラップ処理産業は表3に示すように非常に大きく、鉄鋼スクラップの場合には数十億ドル、チタンやガリウムのような稀少金属のような場合でも数百万ドルに達している¹⁶⁾。スクラップ再生の問題点としては、スクラップは製品の性状を害するような不純物を含む場合が多いこと、多量の回収が難しい場合が多く又供給量が不確定な場合が多いこと、価格の変動が激しいことなどがあげられる。しかし起業費、操業費共に一次金属の生産に比べて、その何分の一程度であるため、低価格の輸入原料とも充分競争が可能で今後米国の原料供給に益々重要な役割を果して行くものと思われる。鉄鋼、アルミニウム、銅の場合のスクラップ再生と一次産品のコストの一例を表4に示した。鉄鋼の場合にはスケールメリットと鉱石品位が高いため(>60%Fe)スクラップ再生の一次生産に対する起業費の比は2:1と比較的低いが、銅の場合には鉱石品位が低いため(0.7~2%Cu)起業費の比が12:1と大部高くなっている。又操業費の比は三金属とも3:1となっており、再生の有利性をよく示している。

鉄鋼スクラップについては、この20年間にミニミルのシェアが4% (400万トン) から20% (1800万トン) へと増加し、現在約50のミニミルが操業している。起業費、操業費共に現在のように消費が伸び悩んでいる折

にはスクラップの値段が低くミニミルは一貫製鉄所に比べて益々有利となっており、2000年までにはミニミルのシェアは40%になるであろうという予想もできている。

アルミニウム産業も同様に市場の軟化、電力費の上昇、生産過剰で1981年以後生産量が下降し、同時に輸入が増加している。アルミニウムの再生は従来20%程度にとどまっていたが、1970年に始まった飲料用アルミカンによる環境汚染対策と1973年の第一次オイルショックにより大巾に変化し、現在30%前後に増加している。1984年には600億個のカンが消費されたが、その半分以上が回収再生された由である。

しかし再生金属の性状はスクラップの合金成分の相違と不純物の混入により影響を受けるので使用目的によってはスクラップの選別がなされているが、二次産品の品質を純化する特殊技術の開発が必要になってくことは想像に難くない。

結 言

これまで低品位ではあるが、地下資源が豊かであった米国の鉱山冶金業界は世界のすう勢を見る眼が安易に過ぎたため大巾な構造改革を余儀なくされて現在も急速に変動しつつある。この事実へ正面から取り組みその対策を講じて行かなければとりのこされてしま

表4 Capital and Operating Costs for Producing Metals from Scrap and Virgin Ores for three Major Metal Industries (Agarwal, 1985)

COSTS	CAPITAL			OPERATING		
	SCRAP DOLLARS/LB.	VIRGIN DOLLARS/LB.	RATIO	SCRAP CENTS/LB.	VIRGIN CENTS/LB.	RATIO
Steel	0.10 - 0.12	0.20 - 0.25	2 : 1	4 - 5	10 - 15	3 : 1
Aluminum	0.2 - 0.3	2 - 3	10 : 1	18 - 22	40 - 60	3 : 1
Copper	0.2 - 0.3	2 - 4	12 : 1	16 - 20	45 - 60	3 : 1

うことは明らかである。このあまりにも急激な変化に一部悲観論もでていられるけれども職場確保への労資の協調、賃金の譲歩、新技術の導入によって生産性向上をはかり操業を再開した例が各地に出現し始めている。かって宇宙開発でスプートニクショックに目覚めて、月面着陸の成功をもたらした情熱を想起し、天然、人材両資源を生かして産学協同による革新技術の開発、再生や新素材などの新分野の開拓を通して鉱山冶金業界の再起を期待したい。

参考文献

- 1) 岩崎 巖; アメリカにおける鉱物資源開発の動向, 鉄と鋼, 67年, 3号, 456(1981).
- 2) Mineral Commodity Summaries 1987, U.S. Bur. Mines.
- 3) The Strategy behind PD's return from the "dead" Eng. Mining. J., vol. 188, No.1, 16(1987).
- 4) J. B. Hiskey, Technical innovations spur resurgence of copper solution mining, Mining Eng., vol. 38, 1037(1986).
- 5) Management guru Peter Drucker's prescription for ailing industries, "The worst thing is to modernize", U.S. News & World Report, February 2, 1987.
- 6) F. Koelbe, Strategies for restructuring the US steel industry, 33 Metal Producing, vol. 24, No. 12, 28(1986).
- 7) S. Cohen and J. Zysman, The myth of a post-industrial economy, Technology Review, vol. 90, No. 2, 55(1987).
- 8) J. W. Evans and J. Szekely, Newer vs. traditional industries: a materials perspective, J. Metals, vol. 37, No.12, 40(1985).
- 9) J. L. Simon, *The Ultimate Resource*, Princeton University Press (1981), 415 p.
- 10) E. N. Cameron, *At the Crossroad, The Mineral Problems of the United States*, Wiley-Interscience (1986), 320 p.
- 11) W. W. Fletcher and K. U. Oldenburg, Strategic Materials: How technology can reduce US import vulnerability, Issues in Science and Technology, vol. 2, No. 4, 75(1986).
- 12) J. P. Clark and B. Reddy, Critical and strategic materials, Conservation and Recycling, vol. 9, No. 2, 173(1986).
- 13) W. A. Vogely, Why the strategic stockpile should be abolished, Issues in Science and Technology, vol. 2, No. 4, 92(1986).
- 14) C. Pollock, Realizing recycling's potential, in *State of the World 1987*, Lester R. Brown, et. al., A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society, Norton, New York, p. 101(1987).
- 15) R. G. Reddy, Mineral Waste Treatment and Secondary Recovery, J. Metals, vol. 38, No. 4, 49(1986).
- 16) P. R. Taylor, H. Y. Sohn and N. Jarrett, eds., *Recycle and Secondary Recovery of Metals*, The Metallurgical Society (1985), 862 p.
- 17) J. C. Agarwal, Economics of Recycling and Secondary Recovery of Metals, Presented at the 1985 TMS Fall Meeting, Ft. Lauderdale, Florida.

