

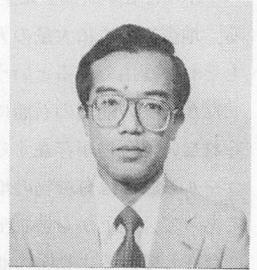
## ■ 展 望 ■

## 希少金属の資源状況と備蓄の展望

The Outlook of Rare Metal Resources and Its Stock Pile in Japan

諏 訪 晃\*

Akira Suwa



## 1. 緒 言

近年、希少金属が経済社会安全保障の面から脚光をあびている。

経済社会安全保障とは文字通り『我国経済社会を外的脅威危険から守る』という意味であるが経済社会にとって希少金属がそれほど大きなウェイトをもつものなのかどうか、どのような外的脅威危険が存在するのか、且つ危険が存するとすればその対策はどうあるべきかについて小論を試みたい。

## 2. 希少金属の定義

## 2.1

1950年代欧米先進国の技術革新により化学工業、機械工業は質的大発展を遂げたがこれらの産業は従来に比し格段の高性能をもつ金属材料を必要とした。ここにNi, Cr, Mo, Co, W等、希少金属と呼ばれる一群の金属が経済社会に登場してくる。希少金属の定義として1954年刊行「RARE METAL HAND BOOK」—米ハンベル教授—が最も権威あるものとされているがその定義は次の4つのカテゴリーの何れかに該当するものとしている。

- (1)地球上でその天然存在が希少なものであること。
- (2)存在は多いが経済的に抽出可能な高品位鉱が少ないこと。
- (3)存在は多いが純粋な金属抽出が極めて困難なこと。
- (4)抽出されても金属の用途がないこと。

## 2.2

現代の先端技術産業である電子工業、航空機工業等は先述のNi, Cr等に加えて、Ge, Ga, In, Be等の新しい金属を次々と必要とし、数拾の金属が希少金属と呼称されるに至っている。産業的呼称故に希少金属の定義は、定性的であいまいなものとならざるを得ないが、その性状に注目し現代的に言えば、『融点が高い、逆に低い、

比重が小さい、あるいは半導体、磁性体等の電子特性をもつ等、普通の金属材料にない特質を有する金属』といったところではなからうか。(普通の金属とは鉄、銅、鉛、亜鉛、錫、アルミ等の伝統的大量消費金属を意味する。)

次図は我国に於ける金属の需要量と価格を一覧にしたものであるが、図の中央部CrからGeあたりまでを希少金属とするのが適当であろう。

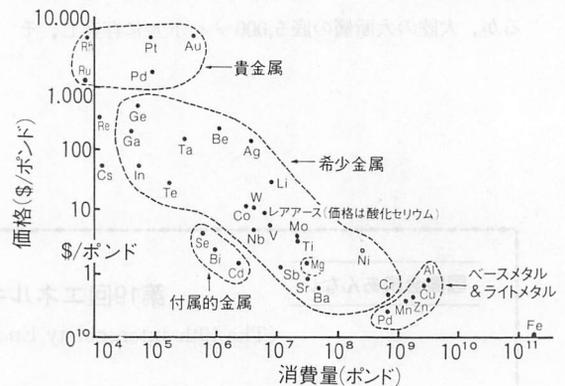


図-1 希少金属等の我国における消費量(57年)と価格(58年)

58年度発足の我国希少金属備蓄制度に於ては、Ni, Cr, Co, Mo, W, Mn, Vの7金属をまず対象としており、金属鉱業事業団法施行規則の変更で今後追加し得ることになっている。(Mnは希少金属に入るか否か定義から考えると微妙なところである。その重要性から備蓄対象となった。)

## 3. 希少金属の用途

## 3.1 特殊鋼(合金鋼)としての用途

希少金属用途で汎用性が高く量的に多いのは鋼をベースとした合金鋼である。

合金鋼は産業の基礎材料である普通鋼に比し、耐熱性耐蝕性、強度等の点において優れており、産業用のみならず日常生活必需品(医療器具等も含めて)の要

\* 住友金属工業㈱第二原料部次長

〒100 東京都千代田区大手町1-1-3 大手センタービル

めとして使われている。特に我国機械工業は総生産額、年間50兆円強で国民総生産の20%を占める重要産業であるが、合金鋼なくしては、まず成立たない。土木、建築も合金鋼材料の使用は増えつつある。エネルギー関連産業は、石油掘削送油からはじまってLNG、石炭、ガス化、液化、地熱、原子力、ソーラすべて合金鋼が要めの材料である。

武器産業はより一層合金鋼インテンシブ産業と言えよう。希少金属の供給が減少した場合の我国、国民総生産への影響度について統計不充分的な正確な分析は出来ないが、例えばCrの供給が一年間と絶えると国民総生産が約2割近く失われると推定される。

表1 特殊鋼用途

希少金属	代表的鋼種	同左系	主たる用途
Cr (クロム)	ステンレス鋼 構造用合金鋼 高張力鋼 耐熱鋼 軸受バネ鋼	Cr系, Ni-Cr系 Cr-Mo系 Cr-Mo系, Nb系 Cr-Ni系 Mn-Cr系	化学用プラント, 原子力発電 産業機械, 電気機械 自動車, 造船, 鉄道, 建設 家庭用業務用機器, 樹膠 医療機器
Ni (ニッケル)	ステンレス鋼 高張力鋼 耐熱鋼	Ni-Cr系 Ni系 Ni-Co系	同上 LNG船, タンク
Mo (モリブデン)	(高級) ステンレス鋼 構造用合金鋼 高張力鋼	Ni-Cr-Mo系 Cr-Mo系 Cr-Mo系	ソーラシステム クロムの項と同じ "
Co (コバルト)	(超)耐熱鋼	Co-Ni-Cr-Mo-W	自動車
W (タングステン)	高速度工具鋼	Cr-W-V-Co系	産業工具

3.2 単体或いは、化合物として先端技術産業に於ける用途

特殊鋼用途の如く広範、大量ではないが国際経済社会において戦略的重要性をもつ電子工業、原子力工業材料として不可欠である。

(1) 電子工業

電子工業の発展は、その材料部品開発に負うところが大きく、今日、電子材料の殆んどが希少金属を必要としている。電子工業のここ数年の伸長は驚異的で年率30%近い高成長となっている。その強い国際競争力からして、まだまだ発展が続く分野であろう。

(2) 原子力工業

原子力発電が中心であるが機器構造材として大量の合金鋼の他、燃料被覆管にZr合金、復水器にTi、廃棄物濃縮固化装置にNi系合金等が使用されている。又、開発中のFBR-Na冷却にV系合金、高温ガス炉にNi系合金、更には核融合のプラズマ閉じ込め耐熱材にMo系V系合金、超電導材にNb合金等々希少金属合金が開発の要めとなっている。

(3) 航空機宇宙産業

表2 電子材料用途

電子材料	部 品	使用されている代表的希少金属
半 導 体	発光ダイオード, トランジスタ レーザ, IC リードフレーム材	Ga-As, Ga-As-P, In-P, Ge Co-Ni, 52Ni
電 子 管	送信管 マグネトロン ブラウン管	Th-W, TaC, ZrC Ni-W-Mo Sr
抵 抗 器	金属皮膜固定	Ni, Cr, Ti, Pt, Au
コンデンサ	タンタルコンデンサ	Ta
機構部品	スイッチ, リレー, コネクター	Au, Pt, Pd
磁性材料	アルニコ, フェライト 希土類磁石	Co-Ni, Sr-Fe Ba-Fe, SmCo
電 池	リチウム電池, 太陽電池	Li, Mn, GaAs
そ の 他	光ファイバー	GeCl <sub>4</sub>

現在我国の産業規模は米国の拾数分の一でしかないが今後の発展が期待されている。構造材として金属材料(Ti合金, AlMgLi合金, Be, Al,)と繊維強化複合材が競合しつつあるが将来は両者の混合材いわゆる金属複合材の開発が期待されている。エンジン関係はCo合金が重要な位置を占めている。

4 希少金属の資源状況

4.1 偏在と寡占

希少金属の用途は上述の通り工業、とりわけ先進国工業に不可欠の材料であるが、その資源の賦存は、対称的に発展途上国・政情不安定国・共産国に偏在している。汎用性が高く、用途の重要な5希少金属の資源賦存状況、鉱石生産状況は次の通りである。

表3 鉱石資源の偏在(地域別シェア)

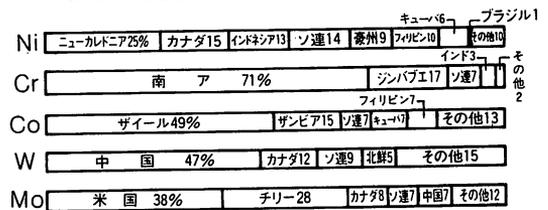
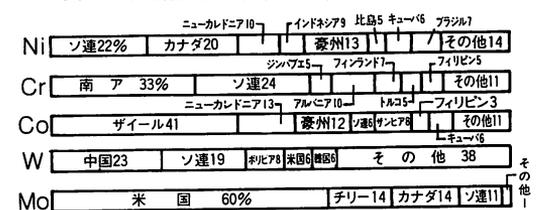


表4 鉱石生産の集中(地域別シェア-1979)



資源の賦存・生産の地域偏在に加えて鉱石生産者の寡占度が著しい。

表5 鉱石生産者の寡占—1980年

鉱種	第一位生産者	世界に占める生産量シェア
Ni	カナダ INCO社	35% (上位3社シェア48%)
Cr	南ア(英) GENCOR社	10% (〃 25%)
CO	ザイール GECAMINE社	42% (〃 50%)
Mo	米国 AMAX社	42% (上位5社シェア80%)
W	カナダ CTMC社	7% (上位3社シェア20%)

#### 4.2 供給阻害要因

希少金属資源の偏在、生産者の寡占の為特定ソースの供給途絶は一挙に需給バランスを崩壊させる。供給阻害要因について過去の事例、将来の可能性を挙げてみると次の如くなる。

##### (1) 政治的要因によるもの

戦争内乱、政府国際機関による輸出入禁止、ゼネスト、国際カルテルが考えられる。希少金属が最も偏在する南ア(共)に於いて将来発生の可能性がある。

過去の実例としては影響の大きなものを挙げるとまざザイール・コバルト(Co)の供給途絶がある。

1974年隣国アンゴラ内戦により内陸転送が途絶、国際価格は1年足らずの間に500%に高騰。1977~8年にはザイールジャバ州第二次紛争により再び出荷途絶、国際価格は800%に高騰した。

クロムに関しては1968対ローデシアSun-Ctionの際、国際価格が150%に高騰した例がある。

##### (2) 経済的要因によるもの

ストライキ、地域的経済恐慌、投資不足が考えられる事例としてストライキが最も多く1978年カナダのモリブデン鉱山(世界生産量の1割を占る鉱山)が1ケ年のストライキを行い、国際価格は1ケ年間に800%高騰した。又ニッケルに関して1969年INCO社及びFALCON社の7ヶ月ストライキで国際価格が500%に高騰した例がある。

将来問題としては石油危機以降世界的に鉱山製錬業の収益性が低下、経営体質が悪化した為ここ数年新規鉱山開発投資不足が続いており、開発リードタイムが長い為にこれが将来供給の大きな不安材料となっている。

##### (3) 社会的要因によるもの

開発阻止の住民エコロジスト運動がある。

##### (4) 自然的要因によるもの

モリブデンで世界生産の1割を占るクエスタ鉱山が1972年地すべりで崩壊した例。ニッケルで世界生産の1割を占るニューカレドニア鉱山が1967年大洪水で生産出荷中断の例がある。

#### 4.3 南部アフリカ地域の重要性

希少金属を中心とする重要鉱物が集中的に賦存しており自由圏先進国にとっては、石油に於ける中東と同様の重要性を持っている。

##### (1) 希少金属資源の集中と政治的経済的不安定性

希少金属中、最も汎用性の高いCr鉱石については自由圏の9割強の埋蔵が南アフリカ共和国、ジンバブエに集中、白金は南アフリカ共和国に8割強Co鉱はザイール、ザンビアに7割強という極度の集中となっている。

一方、南部アフリカ諸国はその歴史的経緯から独立後も政治的、社会的紛争の種を持っており、それを材料としてのソ連、中国の進出が自由圏先進国の神経をとがらせている。

南部アフリカの代表的紛争例

1965~79 両ローデシア紛争；社会主義黒人政  
権の樹立

75~76 アンゴラ紛争；キューバ軍進攻、親ソ政  
権樹立

75~ ナムビア紛争；南ア共和国と南西アフリ  
カ人民機構との対立

'77~78 ザイール；ジャバ州独立運動

'75~ モザンビーク独立；黒人政権、親ソ政権、

1979ソ連、東独軍事協力

問題はこれらの諸国がソ連共産圏の政治的影響を受けることだけでなく、かつての支配者欧州白人を追い出した後、経済運営が上手く行かず鉱物の産出レベルが著しく低下することにある

希少金属の賦存集中度を南部アフリカ諸国とソ連と合わせてみると驚くべき高度集中となる。

##### (2) 南アフリカ共和国

南部アフリカの中で最大の資源国は南アフリカ共和

表6 希少金属等世界の埋蔵量に占る南部アフリカ及びソ連のシェア

	南 部 アフリカ	ソ 連	計
白金	86%	13%	99%
マンガン鉱	53	45	98
バナジウム鉱	64	33	97
クロム鉱	95	1	96
ダイヤモンド	83	4	87
コバルト	65	9	74
銅	13	9	22
タングスタル	72	—	72

出典；E・F・アンドリュース氏資料 (ALLEGHENY社VP)

国であるが、同国最大の問題は人種問題である。

アジア、アラブ、アフリカ諸国はこぞって南ア共和国のアパルトヘイト（人種差別）を非難、外交関係を樹立しておらず、国連での地位も不安定で国際的孤児である。

国内政治は現在のところ白人（4百万人）の黒人（2千万人）コントロールが徹底し、きわめて安定しているが近年国際世論に押されて黒人の教育、生活のレベル向上は著しいものがあり、将来目覚めた黒人と白人との間にし烈な組織的抗争の可能性を孕んでいる。

米国政府は政権により南ア共和国への対応が多少変わるが現政権は全面支持の方針を強く打出している。我国政府は同国の人種差別に反対し、正式な外交関係は樹立しておらず投融資を禁じており文化、教育、スポーツの面でも交流をも制限している。

資源的には我国はクローム、白金、マンガン、アスベストの大部分、石炭、鉄鉱石、ラウンの相当部分をここに依存している為、民間企業としてはその関係維持に苦慮している。

4.4 銅、亜鉛、アルミ等ベースメタル副産物としての回収される金属

半導体等電子材料として使われる希少金属には、ベースメタルの鉱石中に併存して含有されしかもその含有率がPPMオーダーと極めて低い為ベースメタルの副産物としてしか経済的抽出方法のないものがある。

しかしベースメタルの生産伸長率は極めて低い為、電子産業等急成長産業で使用される場合短期間に需給逼迫のおそれがある。特に我国のベースメタル製錬は衰退の一途をたどりつつあり将来問題をはらんでいる。

表7 副産物として回収される主要希少金属

希少金属	原料	生産者	主たる用途
Ca (ガリウム)	アルミ、亜鉛} 製錬産	国内；同和鉱業25% 共産国 42% 輸入；その他 33%	トランジスタ レーザー、受光素子 磁器ハブルメモリ
Ge (ゲルマニウム)	銅 製錬産	住友金属鉱山、国内 日本電子金属} 50% 東京電子冶金 輸入；仏他 50%	受光素子 光ファイバー 医薬、触媒
In (インジウム)	亜鉛 製錬産	国内 日本鉱業他 90% 輸入；米国 10%	発光、受光素子 液晶、撮像管
Te (テルル)	銅 製錬産	国内；100% 三菱金属 日本鉱業 三井金属 住友金属鉱山	複写器用ドラム 快削鋼 ゴム加流添加
Se (セレン)	銅、亜鉛} 製錬産	国内；100% 三菱金属 日本鉱業 三井金属 住友金属鉱山 他2社	複写器用ガラス 快削鋼 太陽電池 薬品

5 希少金属の代替について

希少金属の代替性については一般的にはその金属の持っている特性を最大限に利用する為、他の物質への代替性はないといわれている。又、品質性能が代替しうるだけでなく、経済的に代替しうるものでなくてはならぬわけで一層代替を難しくしている。

5.1

用途が広範なMoについて、1978年の供給障害（エンダコ鉱山1ヶ年ストライキで価格約8倍に高騰）の際、大手ユーザーはV、Nb等による代替及び添加量の節減に全力を注ぎ、従来消費量の凡そ15~20%をこれによりカバーし得た例がある一大手ユーザー数社ヒアリングによる推計であるが、汎用性の高い希少金属の緊急対応、代替節減の限度として典型的な例と考える。

5.2

磁性材料のCoのケースは著名な代替開発例であるが1970年代Coの度々の供給途絶に対処してフェライト系の優れた磁性材料が開発され、この分野でのコバルト需要は激減した。（日本の磁性材料消費'76年は'82年対比で1/4に減少、米国は同1/2に減少）しかしCoは航空機エンジン用等の用途の拡大がある為、トータルとしては今後需要が増加して行く重要希少金属である。

同じ磁性材料高性能磁石でレアアース系磁石はSm-Co系が従来主力で将来Sm需給逼迫が懸念されていたが（Smの需要最近3ヶ年年率20%の伸長）Nd-Bo系の開発の目途がつき資源制約を解放するといわれている。

5.3

セラミック及び複合材料（コンポジットマテリアル）発達は金属材料に相当部分とって代わりつつある。先端技術分野で金属材料としてのぎをけずり合いながら、将来は両者が混合されたような材料開発につながると思われる。

5.4 代替について経済性問題として最も問題になるのはCrである。

Crは汎用性が高く特殊鋼にとつていわばベースとなるメタルである。特に高温下の耐酸化耐蝕性という点で他のメタルでの代替は難かしい。

セラミック、Ti、Cu-Ni系特殊鋼等が一応代替として考えうるが価格が桁違いに高くなる。

Cr系特殊鋼の価格が安いことは南部アフリカのCr資

源の賦存状況がきわめて良く、採掘コストが安いことと精錬コストも、フェロクローム迄の精錬で充分である為の割安さによる。

然し供給の面では南ア（共）に集中している為、供給不安要因が多いことは先述の通りで、どの先進国もクリティカルメタルのトップグループに挙げている。

米国のNational AcademyはContingency for Chromium Utilizationというレポートで産業社会のシステム全てを変え、或る程度のコスト高を容認するなら米国のCr消費量を現在の三分の一のレベル迄削減しようとしている。

我国としてもCr危機が起きた時の対策としてどの用途を制限し、代替品の生産をどうするか等の危機管理システムは一応考えておく必要はあろう。

## 6 資源対策

### 6.1

鉱物資源は通常商品と異り、政治性をもっている為、市場メカニズムだけで需給均衡を期することは出来ない。経済審議会は「2000年の日本」の作業（筆者も委員として参加）の中で希少金属に銅、鉛、亜鉛を加えた非エネルギー鉱物の用途の重要性と供給の不安定性にかんがみ概要次の如き提言を行った。

#### (1) 長期的構造的供給不安定性への対策

##### A. 資源供給拡大への貢献。

民間企業海外資源開発進出の為の環境整備。

政府の発展途上国インフラストラクチャー等経済協力。

##### B. 新資源未利用資源の有効活用

マンガン団塊、熱水鉱床等海底資源探査。

シベリア、アラスカ、南極、陸上僻地探査開発。

陸上低品位鉱の利用技術開発。

##### C. 国内資源の確保——深部探査・探査技術の維持。

##### D. 省資源とリサイクリング代替。

##### E. 技術開発促進——製錬技術の向上

#### (2) 短期的不安定不安定性への対策

##### A. 短期的、突発的不安定性への対策

国際政治経済の安定、資源国と友好関係強化。

海外鉱山経営参加。

##### B. 供給途絶発生の際の緩衝策——供給ソースの分散備蓄。

### 6.2

本来鉱物資源取引は資源特有の政治性を別にしても「価格の作用」が全ての市場ではなく長期安定的顧客

関係（投融资関係、技術交流を含む）による「組織」に近い市場である。

しかし、多くの希少金属の取引現状は供給者と需要家の長期安定的顧客関係ではなく「価格の作用」が全ての市場、時としては投機的市場によっている。量的に僅かな間は問題はなかったが電子工業の如く年間3割近い伸長が続き（3年で2倍）広く経済社会にその材料が定着してきた場合、その素材となる希少金属資源とユーザーの結びつきの弱さは経済社会の脆弱性につながる。

希少金属について、まず第一なされねばならないことはユーザーである加工組立業と素材業との縦断的情報交換の促進である。先端技術産業では次々と新しい材料が開発される為、代替も考慮して全ての希少金属について我国及び世界の生産、消費、流通を把握することが重要である。

第二は資源探査である。海外のみならず国内においても徹底して深部探査を行うことである。更には海底資源探査も必要であろう—これには探査技術の向上が期待されている。

第三は海外鉱山投資と経営参加である。第一次石油危機の際のメジャーに見る如く、資本進出による情報収集は圧倒的偉力をもっている。もちろん資本進出、経営参加は、安定供給策として最も発展性のある対策である。

仮に投資国に政治的或は経済的な大変革が起るうとも、そのアドヴァンテージを全て失うことは少ない。我国も素材産業の経営的疲弊は著しいが加工組立業の資本蓄積は膨大となりつつある。大巾な海外鉱山投資減税等の方策で資本を資源投資へ誘導することが希少金属をめぐる我が国の脆弱性をカバーする最も前向きな方策であろう。欧米と日本の希少金属に関する脆弱性は資本の進出という点で大きな差がある。

第四は備蓄である。発展性には欠けるが、最も早い対策である。

## 7 希少金属の備蓄

58年度緊縮財政の中にも拘らず、石油に次いで希少金属備蓄制度が創設されたことは、充分評価しなければならない。（実現に当っては製鋼、非鉄製錬等31社からなる特殊金属備蓄協会の先駆的備蓄努力が大きく寄与している）しかし、国家備蓄、官民共同備蓄、民間備蓄の3本建てという複雑な形式をとった為、今後の運営上多くの問題を孕んでいる。

7.1 新備蓄制度の内容

対象鉱種：

Ni, Cr, Mo, Co, W, Mn, V の 7 鉱種

主体：金属鉱業事業団（政府出資特殊法人）

共同備蓄参加者：

特殊金属備蓄協会メンバー製鋼製錬業31社

備蓄計画と費用負担：

	58年度	62年度 目標	資 金	備蓄コスト負担
国家備蓄	5日分	25日分	事業団 市中調達	政府：100%
共同備蓄	5日分	25日分	同 上	政府：金利の½ 及び保管料100% 民間：金利の½
民間備蓄	2日分	10日分	民 間	民間：100%
計	12日分 約90億円	60日分 600億円		

7.2 備蓄コストと効果

凡そ、備蓄は資源対策としては費用対効果という面から効率は高くない。（備蓄は保険という説もあるが、この保険金は掛金の合計しか返ってこない保険である）個々の企業にとって、供給阻害に備えての備蓄は、まず備蓄コストの方が備蓄による期待利益（損失の防止）より高く採算に合わない。例えば、ステンレス鋼メーカーが原料希少金属フェロクローム（FeCr）1tを備蓄したケースで算定してみると次の通りとなる。

備蓄計画と費用負担

前 提 条 件	(i) 備蓄用FeCr購入価格；140千円/吨 (ii) 備蓄年間経費；金利8.5% 保管費3.5% 合計購入金額×12% (iii) 備蓄期間；10ヶ年 (iv) FeCr供給途絶が起る確率；向う10ヶ年間に20% (v) FeCr1吨で製造出来るステンレス鋼；2.5吨 (vi) ステンレス鋼製造販売の期待利益；150千円/ステンレス鋼吨
損 得 計 算	FeCr1吨の10ヶ年備蓄コスト； 140千円 $\{(1 + 0.12)^{10} - 1\} = 294$ 千円 FeCr1吨備蓄の期待利益；150千円 $\times 2.5$ 吨 $\times 20\% = 75$ 千円 ∴ 備蓄コスト294千円 > 期待利益75千円

明らかに備蓄コストの方が備蓄による期待利益より高く、このステンレスメーカーは現時点ではフェロクロームの備蓄は行わない。（供給途絶の起る確率が相当高くなって初めて備蓄を開始する）しかしながら、これを国家的見地でみれば、このステンレスメーカーの製造したステンレス鋼は川下の機械メーカーで期待利益を生む。その機械で更に川下の輸送機器組み立会社の期待利益、輸送会社の期待利益、輸送機利用者の期待利益と次々に加算されて行けば、期待利益総額は

備蓄コスト294千円/Tを超えて行くであろう。従って国家的見地では備蓄は採算に合うことになる。

7.3 今後の備蓄の展望

現備蓄制度は前述の如く、官民合わせて7鉱種60日分を予定しているが、このままの制度では民間側（製鋼、製錬業）が負担に耐えかねて行き詰る恐れがある。

備蓄の効率化の為に国家備蓄1本に統合すべきであろう。又、現在の備蓄鉱種についても再検討が必要である。その金属の我国経済社会における重要性及び供給の不安要因の両面から十分な検討を加え要対策希少金属の順位付を行うべきであろう。

その為に希少金属を使用する素材産業、加工組立工業の縦断的研究会の発足がまず望まれる。

8 おわりに

引続く不況で希少金属に関し、いわゆる水際に立つ我国の製錬・製鋼業等素材産業は経営的に疲弊し、長期的見地で原料対策を考慮する余地はなくなっている。世界の著名鉱山会社も創業以来初めてという赤字が続いている為、ここ数年の鉱山先行投資の不足は著しい

従って希少金属市場は先述の如く、いわゆる価格作用で徐々に需給均衡がとられるというよりむしろ、いずれ大きな危機的な変革により調整される可能性が高い。その時、我が国経済社会に影響を及ぼすその脅威を少しでも緩和する為、有識者及び加工組立産業の関心を惹起し、全産業的問題として希少金属が捉えられ、対策が検討されることを期待したい。