

資源社会論から見た深海底鉱物資源

Development of Deep Sea Minerals from the Viewpoint of Social Engineering of Resources

西 山 孝*

Takashi Nishiyama

1. はじめに

人類はずいぶん昔から、金属材料を使い続けている。ところが、近年の科学技術の発達と人口の増加にとともに、この30~40年間の金属の消費量は指数関数的に増えており、これは有史以来のこととなっている。この膨張する需要をまかなうために、地下をより深くまで探索し、人跡未踏の地域を積極的に調査してきた。幸いにも、これらの努力が実り、これまで、資源の枯渇という悲劇には至らずに過ごしてきた。しかし、限られた陸からの資源では、そろそろ限界が見えてきており、どこかに新しい資源を確保しておかないと、長い間かかって築いてきた現代社会は、土台から崩れかねない状況になっている。

深海底鉱物資源あるいは海水に含まれる金属資源の開発は、この資源枯渇という難題を解決する救世主として考えられている。これらの資源はいずれもその量が膨大で、これから人類が必要とする金属量の数百倍、数千倍、あるいは数万倍に相当しているからである。そこで、本稿では、深海底鉱物資源は、いつ頃を目処に開発すべきであるか、陸資源の供給能力を対照にしながらか、考えてみる。

2. 資源統計にみられる資源消費量の増大と需要予測

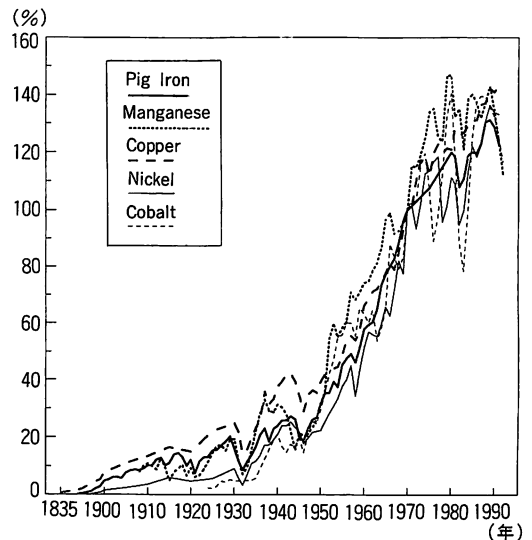
まず、深海底資源開発に深くかわりをもつ、銅、ニッケル、コバルト、鉄、マンガンについて資源統計をもとに現況と需給予測がどのようになるか見てみよう。

よく知られているように、現在もっとも多量に使用されている金属は鉄である。その粗鋼生産量は1993年には7.3億トンに達し、全金属生産量の90%を超えて

いる。つぎに多いのはマンガンの2,040万トン(1993)で、銅は930万トン(1993)となっている。さらにニッケルは83万トン(1993)、コバルトは1.7万トン(1993)である。

これらの金属の19世紀中頃からの生産動向をみると、もっとも注目されるのは1950年代からの急激な増加で、いずれの金属においても最近40年間の増加現象が著しい。そこで、近年のこの指数関数的な増加現象を、1970年の生産量を基準にして比較すると図-1のようになり、この40年間余りに、もっとも増加の激しいニッケルでは6.0倍、もっとも少ない銅でも3.6倍に増えているのがわかる。1973年、1979年の2回の石油危機によって一時的な停滞現象が起こったが、現在は回復し、この急成長の延長線上にあるものとみられる。

そこで、まず、資源統計に表れている動きを単純に外挿して、将来の需要がどのようになるかについて検



[出典：USBM, WBMS, Metallgesellschaft, 鉄鋼統計要覧など]

図-1 1970年を基準(100)としたときの鉄、マンガン、銅、ニッケル、コバルトの生産量推移

*京都大学工学部資源工学教室教授
〒606-01 京都市左京区吉田本町

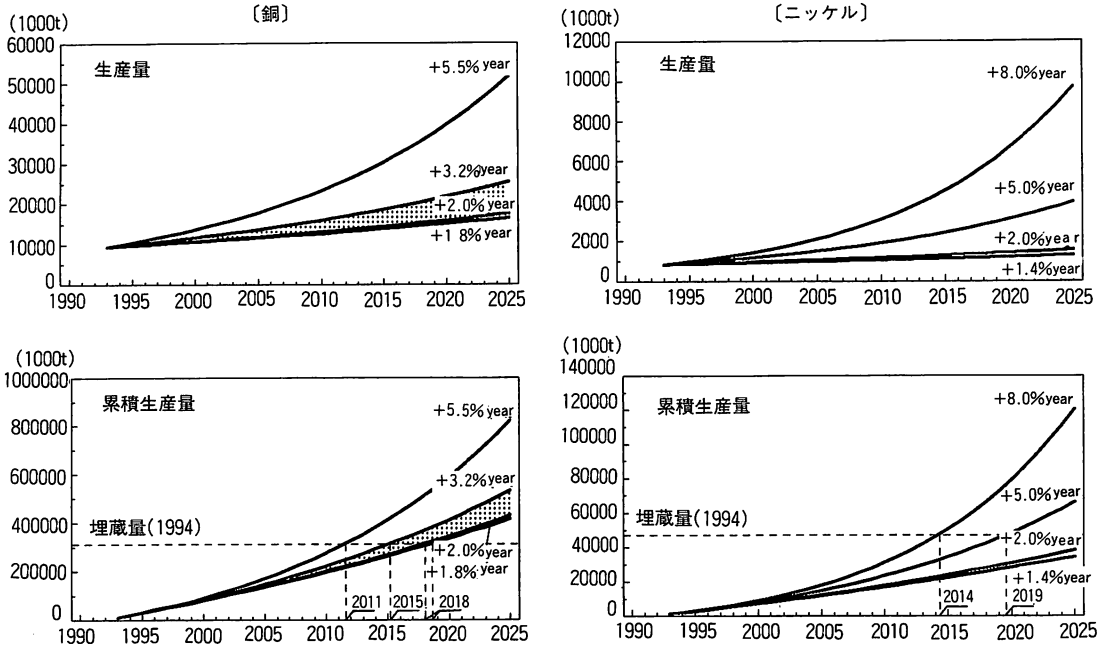


図-2 資源統計に基づく銅およびニッケルの生産量および累積生産量の推移

討してみよう。金属種としてはベースメタルの銅とレアメタルのニッケルを対象とした。このような推測では、どこまで古い資料を遡り、参考にするかが問題である。銅およびニッケル資源の需要は、緩い成長がみられる1950年以前、急成長の続いた1950～1970年代前半、石油危機の起こった1970年代後半以降の3つに大きく分けられる。また、1950～1990年間の5年毎の伸び率をみると、もっとも成長の著しかったのは1955～1960年で、銅では6.4%、ニッケルでは12.1%である。また、もっとも低かったのは1975～1980年で、銅では0.95%、ニッケルでは0.12%である。20年間の年平均成長率では、1950～1970年が銅では5.5%、ニッケルでは8.0%、1970～1994年が銅では1.8%、ニッケルでは1.4%である。これからの20年先、30年先となると、急成長する要素も存在するが、一方では、需給を乱す予期せぬ事も起こりかねない。そこで、(1)急成長のみられた期間(1950～1970)、(2)急成長の終りの時期から石油危機およびその後の回復期を含む期間(1970～1994)の2つを想定し、年需要量、累積生産量がどのように進展するか計算してみた(図-2参照)。銅についてみると、1994年の埋蔵量(3.1億トン)は2011年あるいは2018年に枯渇することになる。世界が順調な発展を続けければ5.5%のグラフに近い成長となり、石油危機のような大きな擾乱が起これば1.8%に

近い状況となろう。なお、資源エネルギー庁鉱業審議会では、1993年にベースメタルについて需要予測を行っており、銅については2.0～3.2%の伸びと見積っている。これによると、1994年の埋蔵量では2015～2018年になくなることになる。

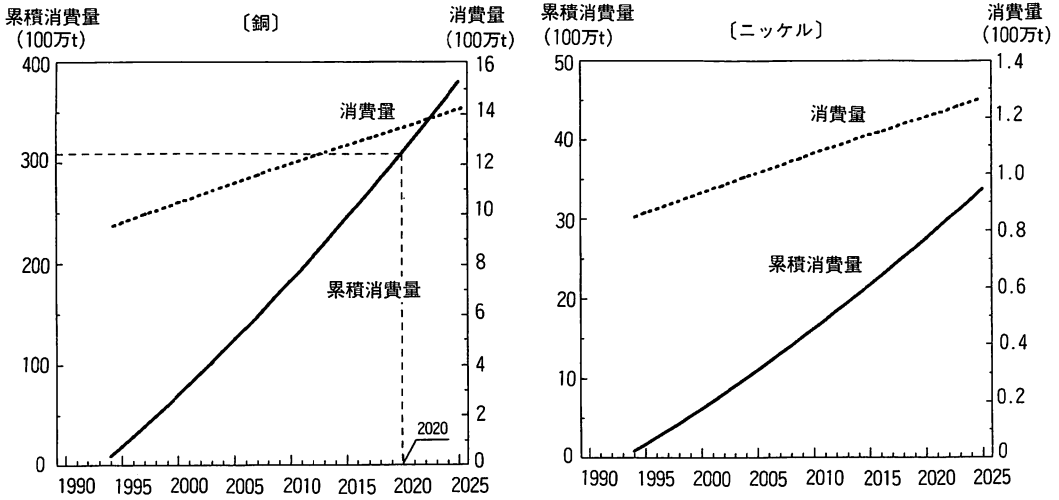
次に、ニッケルについて同様の計算を行うと、きわめて広い幅をもったものになり、高い成長率を想定すると現在の埋蔵量は2014年に枯渇することになり、低い成長率では、枯渇は2020年に延びる。また、ニッケルの主要消費項目であるステンレス鋼について、世界銀行などによって行われている予想成長は2%～5%となっている。

3. 資源消費速度を増大させる3つの理由

それでは、何故、このような指数関数的な増加が、1960年代、1970年代前半を中心に起こっているかについて考えてみよう。それには3つの理由、人口増加、生活水準の向上、科学技術の発達があげられる。

3.1 人口増加にともなう消費量の増加

資源消費量が增大する理由として、人口の絶対数の増加がある。世界銀行の人口予測によると、世界人口は1990年53億であったが、2000年には63億、2010年には72億、2025年には1990年の1.6倍の85億になると推察されている。仮に、1993年の一人当りの世界平均銅



[出典：USBM, World Bank] (基準値：1993年の世界平均銅消費量)

図-3 人口の増加にともなう銅、ニッケルの消費量および累積消費量の増加

あるいはニッケルの消費量が持続されたとしても、人口増加に相当するだけの消費量は増えることになる。たとえば、銅では、1993年に930万トンであった年生産量は、2000年には1,060万トンに、2010年には1,360万トンとなり、2025年では年生産量1,610万トンに達する。1994年から2025年間の累積消費量は4.3億トンに達する(図-3)。1994年の埋蔵量は2020年頃になくなることになる。一方、ニッケルでは1993年の生産量は77万トンで、2000年、2010年、2025年では、それぞれ、87万トン、100万トン、118万トンになる。これは世界を一つにまとめて計算した場合である。

3.2 発展途上国の生活水準の向上

つぎに、発展途上国の生活水準の向上による需要増加がどの程度になるか、検討しよう。

発展途上国の経済発展段階はまちまちで、経済成長率もきわめて高い国から、ほとんど停滞あるいはマイナス成長の国もみられる。しかし、世界的な資源の消費量に顕著な影響が表れてくるのは人口の多い中国やインドのような国である。とくに、近年2桁に近い経済成長を続ける中国は注目される。そこで、中国が、先進工業国のアメリカや日本と、あるいは新興工業国の台湾や韓国と同一水準にまで一人当たりの銅消費量が上昇したとすると、銅の消費量がどの程度増加するか、計算した。すなわち、中国の一人当たりの銅消費量が、2000年および2010年、2025年にアメリカ、日本、韓国あるいは台湾の1990年の一人当たり銅消費量に追いつき、それぞれ、その後は人口の増加分だけ消費が増えるも

のとして中国の銅の消費量を算出した。結果は図-4のとおりである。もっとも極端な場合として、中国の一人当たりの銅消費量が2000年に1990年の台湾の一人当たり銅消費量と同じになったとすると、1994年の世界の銅埋蔵量の1/2を2003年に、全量を2012年までに中国一国で消費することになる。また、2025年に台湾の銅消費量に追いつくペースだとすると、1994年の世界の埋蔵量の半分がなくなるのは2013年で、全量がなくなるのは2023年になる。さらに、中国の一人当たりの銅消費量が2000年に1990年の日本、アメリカ、韓国の銅消費量に等しくなるとすると、それぞれ2014年、2019年、2021年に現在の世界の埋蔵量を一国で消費することになる(図-4)。いずれの場合も膨大な消費量である。

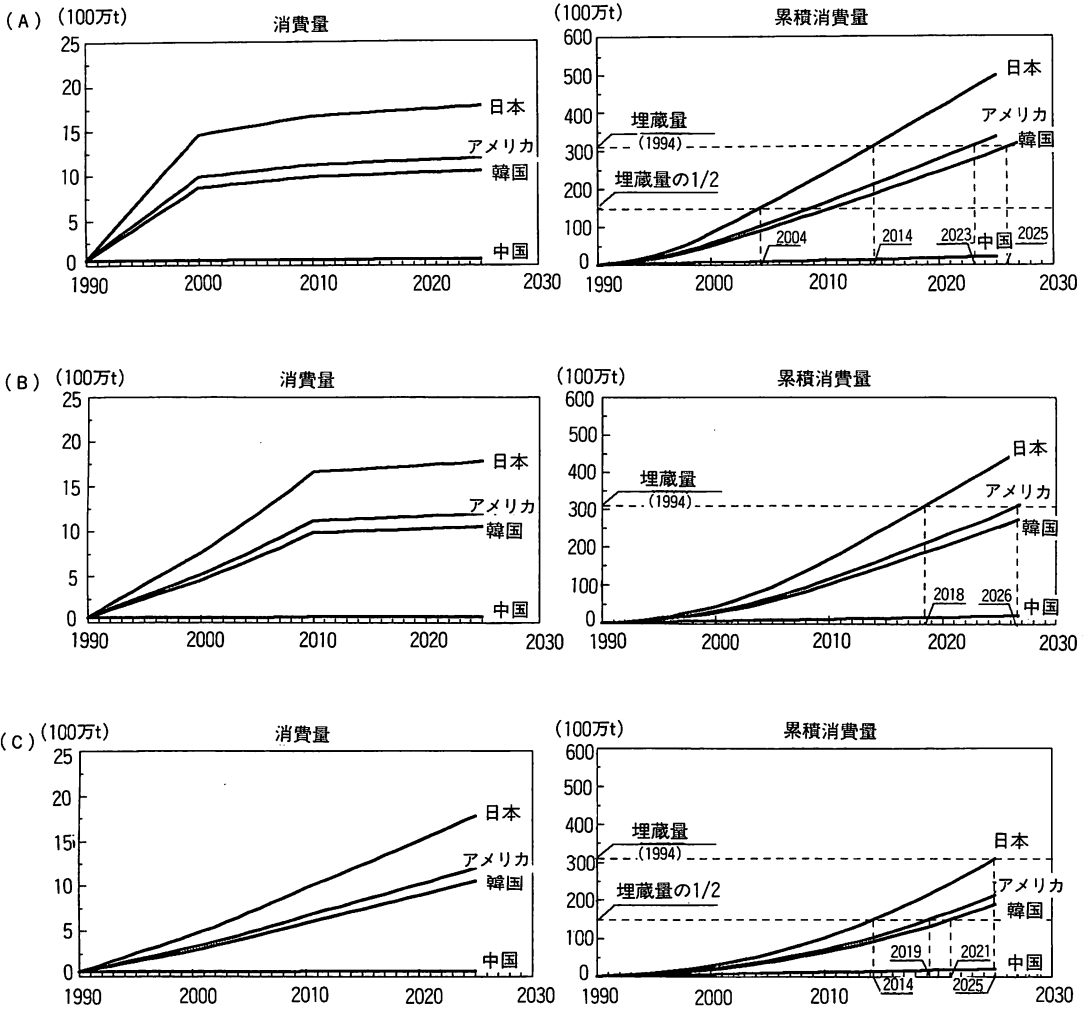
ニッケルについて同じような計算を行うと、同じような結論になる。たとえば、2010年に一人当たりの中国のニッケル消費量が、日本あるいは台湾と同じになったとすると、2013年、2019年にそれぞれ、現在の世界

表1 中国の銅消費量が2000年、2010年、2025年に1990年のアメリカ、日本、韓国あるいは台湾の銅消費量に等しくなる場合の生産量の成長率

	2000年	2010年	2025年
台湾の消費量と等しくなる場合	41.4%	32.3%	25.7%
日本の消費量と等しくなる場合	39.7%	30.8%	24.3%
アメリカの消費量と等しくなる場合	34.3%	26.0%	20.0%
韓国の消費量と等しくなる場合	32.8%	24.5%	18.0%

[出典：Metallgesellschaft, World Bank]

(I) 銅



(II) ニッケル

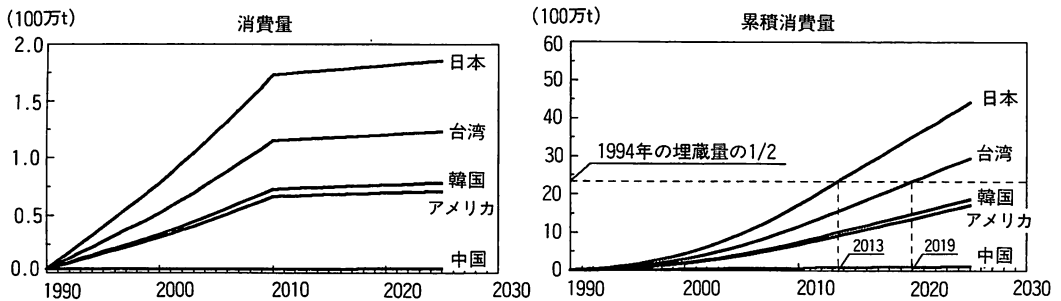


図-4 (I) 中国の一人当たりの銅消費量が、2000年(A)、2010年(B)、2025年(C)に1990年のアメリカ、日本あるいは韓国の銅消費量に等しくなった場合の中国の銅消費量と累積消費量
 (II) 中国の一人当たりのニッケル消費量が2010年の1990年の日本、台湾、韓国あるいはアメリカのニッケル消費量に等しくなった場合の中国のニッケル消費量と累積消費量

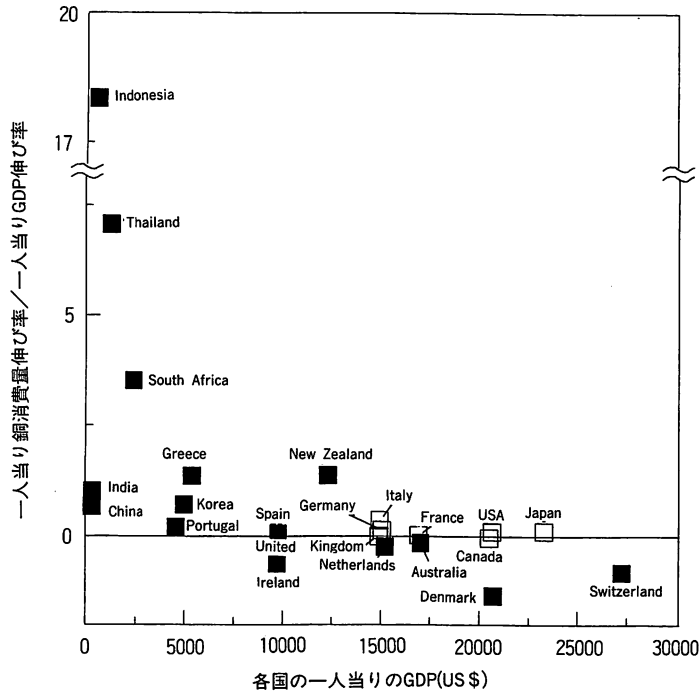


図-5 22ヶ国の1980～1989年における一人当たりのGDP伸び率に対する一人当たり銅消費量伸び率の比と一人当たりのGDP (1989) (1987年のドル価格に換算)

埋蔵量の1/2を中国一國で消費してしまうことになる。極めて膨大な消費量の増加である。

それでは、つぎに、このような高い消費率が実際に起こるものかどうかを見てみよう。まず、消費量の増加を年成長率で表すと表1のようになる。もっとも高い場合は41.4%，低い場合でも18.6%で見掛上は非現実的な数値にみえる。ところが、GDPの増加率と金属消費量の伸び率を比較すると、起こり得ない数字ではないことがわかる。すなわち、発展途上国のなかにはGDPの増加率に数倍した割合で銅の消費量が増加している国もあり(図-5)、経済成長率は10%以下でも、上記の数値は起こることになる。

3.3 科学技術の発達にともなう需要の増加

社会構造が農業から製造業、製造業からサービス業へ移り変わるにともなって、金属消費量も変化する。一般に科学技術の発達には、多量にかつ安価に金属を供給することを可能にした。また、これまでになかった特異な物理学的、化学的性質をもった物質を生み出してきており、科学技術の発達は、量の面でも、質の面でも金属の消費の拡大を促している。

科学技術の発達にともなって今後どのような金属が必要になるかの予測はきわめて困難である。しかし、

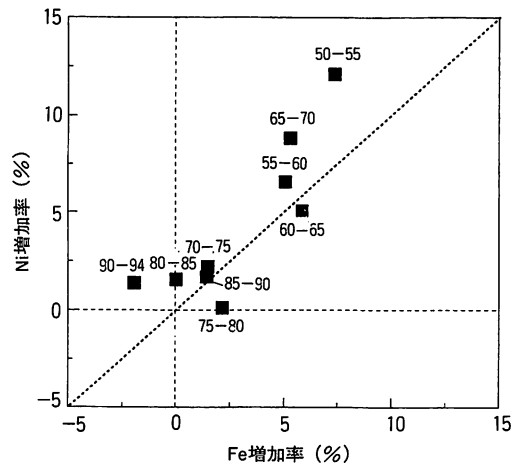


図-6 ニッケルの増加率と鉄の増加率との関係

一般的な傾向として、銅をはじめとするベースメタルでは現・近未来において劇的な需給変動を起こしそうな研究開発はみあたらない。一方、レアメタルでは、より優れた性質、より耐久性をもった素材が多用される傾向を反映し、合金として添加されることの多い金属が着実に増加している。たとえば、ニッケルの大半は鉄の性質を改善するために使われているが、その増

加量は鉄の増加量よりもさらに大きく伸びている(図6)。さらに、技術面での進歩がコストを低下させ、この傾向を増長させている。

4. 海底鉱物資源が必要となる時期
—陸資源の供給限界—

このように増え続ける消費量をこれまでのように陸資源に依存しつづけると、どのようになるか。これについては、短期的には埋蔵量から、長期的には資源量から推察されている。ところが、よく知られているように、この埋蔵量として表現されているものは、経済状況や科学技術の進歩などにより変化し、資源量については地球化学的推察により漠然と判明しているにすぎない。なお、ここでいう資源量とは、これまでに判明している鉱石量(既採掘量と埋蔵量を合わせたもの)のほかに、これから発見が期待できる鉱石量あるいは科学技術の進歩、社会・経済条件の変化によって追加される鉱石を加えたものである。資源量の推定にはいくつかの試みがあるが、その一つに、地殻の平均組成(元素の地殻存在度)に比べてもっとも開発の進んでいる金を基準にした推測値が用いられている。たとえば、この手法に基づく銅やニッケルの究極的供給可能な資源量は、鉱石量のそれぞれ4.4倍から40倍である(表2)。ところが、価格と生産量の関係でみると、この計算の基準となっている金は、銅やニッケルなどの金属に比べると、およそ350倍高くなっている。この点を考慮すると、金を基準にした鉱石量を確保するためには、銅やニッケル価格は350倍にはならないに

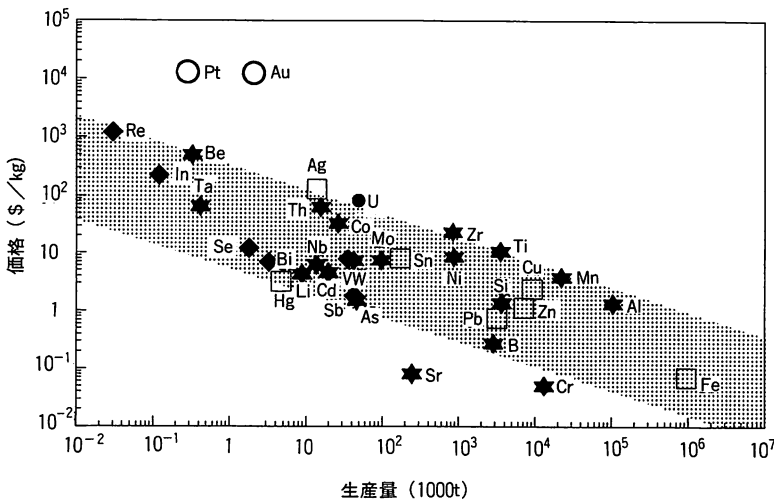
表2 これまでに算出された総鉱物資源量

	埋蔵量 (1000t)	鉱石量 (1000t)	地殻存在度 (ppm)	資源量 (100万t)	資源量 /鉱石量
ニッケル	48,000	74,400	75	2,990	40.2
銅	321,000	664,000	55	2,910	4.4

ても高騰することは避けられないと想定される(図7)。

陸資源の供給は、以上のような背景をもっており、銅やニッケルの既知鉱石は21世紀の前半、発展途上国の順調な成長が続けば21世紀のはじめになくなることになる。これを補う新しい鉱石は、地球化学的観点からは探査努力を怠らなければ発見可能である。しかし、この場合探査の効率が次第に下がり、条件の悪いところからの採掘を強いられることになり、価格は急上昇してくる。そして、ある時点以降、海底資源のマンガン団塊の方が経済的に優位になり、深海底からの資源供給が始められるようになる。

それでは、このような状況が訪れるのはいつ頃になるのか。その一つの指標として、これまでの供給量の増加と同じようなパターンで枯渇が進むものと仮定すると、銅では1995年に、ニッケルでは2004年にピークを迎えることになる(図8)。もし、この間に探査努力の結果、鉱石量を2倍にすることができたとすると、ピークは銅では2020年に、ニッケルでは2031年に延びる。すなわち、現在の鉱石量に匹敵するだけの量が新しく獲得されたとしても、2020年頃には銅が、2031年頃にはニッケルの新しい供給源が必要となる。従って、この時期が、マンガン団塊からの銅あるいはニッケル



[出典: USBM, WBMS, Mining Journal など]

図7 1990年における生産量と価格との関係

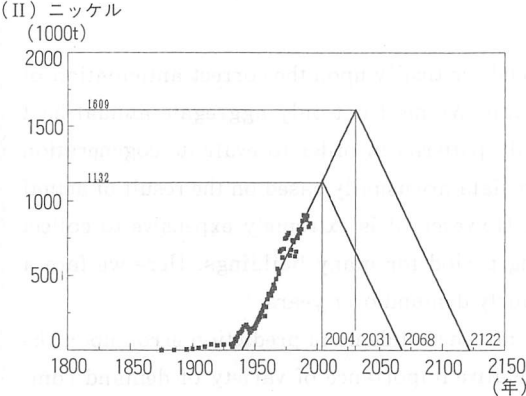
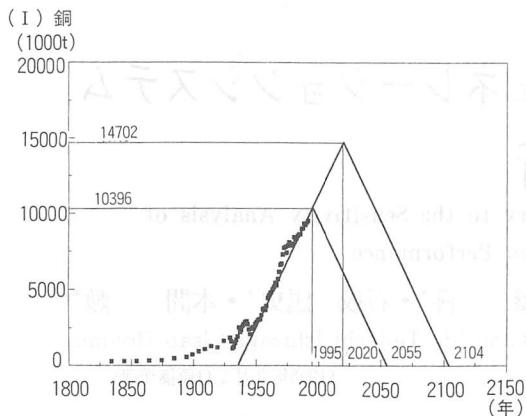
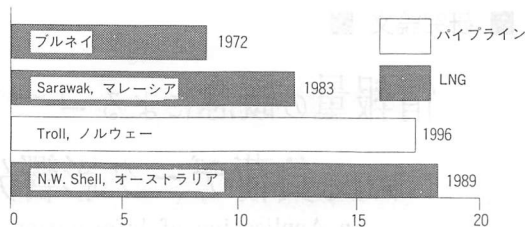


図-8 需要の増加と同じようなパターンで需要の減少が起こると仮定し、鉱石量を現有量およびそれを2倍にしたときの銅およびニッケル資源の枯渇

供給の目処となろう。

それでは、この時期までに海底鉱物資源の供給体制を構築しておくには、どのようなパラダイムになるか。まず、特筆されることは、マンガン団塊の採掘は装置産業であり、究めて長いリードタイムを必要とすることである。一般に、金属鉱山では、探査から開発まで、順調にいても10~15年が必要とされるが、マンガン団塊の開発となるともっと長い期間が必要である。装置産業の代表とされる液化天然ガスでは15年以上必要となっている。オーストラリアでは17年以上かかった例が報告されている(図-9)。さらに、この前段階として、マンガン団塊の分布、性質および品位、採鉱、製錬等に関する研究は先行していなければならない。タイムスケジュールからみれば、実験室における研究、実証試験はすでに完了していなければならない時期である。



[出典: J. M. Overli (1993)]

図-9 天然ガス開発に必要なリードタイム

5. おわりに

陸上資源の発見はこれからも続き、埋蔵量をできる限り追加するように努力しなければならない。しかし、陸は限られており、やがて枯渇を迎え、新しい資源が必要になる。この新しい資源は、過去においてもそうであったように、古い資源と競合する形で漸次開発がすすめられていくのが望ましい。よく間違えて、現在の埋蔵量を使いきってしまった後に、新しい資源を開発するような計画を立てられるが、それは間違いである。資源の供給体勢はそれ程急激には変えられないことを念頭においておかねばならない。

このようなことから、本稿では、マンガン団塊からのニッケルや銅の供給が必要とされる時期は、陸の高品位資源が枯渇し、低品位の鉱石に移り、価格が大きく上昇する時期とした。従って、いま、深海底資源開発に求められているものは、いかにして最適の集鉱・揚鉱システムを確立し、コストの低い抽出技術を開発するか、であろう。

宇宙開発の次は海洋開発だといわれ、1970年代の海洋の研究・開発は活発であった。しかし、近年の海洋鉱物資源開発の研究は停滞ぎみである。その理由として、陸資源の開発が比較的順調に進んでいることと、アメリカの経済力が低下したことがあげられる。経済大国になったわが国は、アメリカに代わって、世界に率先して海洋資源開発に真剣に取り組むべき時期と考えられる。

引用文献

- 1) 西山孝; 資源経済学のすすめ(1993), 中央公論社1154.
- 2) 西山孝; 鉱物資源枯渇と耐用年数(1989), アルム出版社.
- 3) 八田夏夫; 深海底鉱物資源の開発時期はいつか, エネルギー・資源, 16巻, 1号(1995), 77~78.
- 4) 西山孝; 現・近未来における銅の需給動向分析, 資源と素材, 111巻, 7号(1995), 449~455.