

特集

未来展望 (随想)

深海底鉱物資源の開発時期はいつか

When Will Deep-sea Bed Mineral Resources be Mined

On an Industrial Scale ?

八 田 夏 夫*

Natsuo Hatta



現在の世界人口は55億人に達し、2050年には100億人を越え、その後も増え続けると言われている。さらに、生活レベルの高度化への欲求や新興工業国や発展途上国の近代化路線への指向を考え合わせると、人類の持続的発展そのものが困難になってくる。恐らく、資源リサイクリングや省資源・省エネルギーが今まで以上に強化されても、そのような消極的対策だけでは、エネルギー・資源問題の解決はなし得ないと思う。とは言っても、人類が生存するためには、資源の安定供給は必要不可欠である。

産業規模の拡大と先端技術の利用にともなって、鉱物資源の消費量とその種類は増加し続けるのは必至である。とくに、資源消費量の増加率は指数関数的であると言われ、現在の陸上資源依存体制は、次の21世紀初頭には破綻をきたすのは確実視されている¹⁾。この陸上資源の枯渇に対応し、資源の安定供給を維持するためには、深海底の鉱物資源開発の促進が切り札として大なる注目を集めている。海洋は種々の資源の宝庫とされているが、水深4000mから6000mの深海底にはマンガン団塊 (Manganese Nodules) と呼ばれる重金属に富んだ金属酸化物塊が賦存している。また、水深800mから2400mのところではコバルト・リッチ・クラストと呼ばれる層状のコバルト鉱床が分布している。この両者の資源量は莫大であり、銅、ニッケル、コバルトなどの現在の世界年消費量の数百倍とも数千倍とも言われている。

さて、マンガン団塊の形態は球状ないしは楕円体に近く、その寸法は直径に換算して、0.5cmから25cmの間に分布するが、平均的にはほぼ2cmと考えてよいようである。また、密度は組成によって異なるようであるが、 $2000\text{kg}/\text{m}^3$ から $2600\text{kg}/\text{m}^3$ の間にある。

この鉱物塊を深海底から海上に引き揚げるには、まず有望な賦存海域を探索し、鉱区の鉱床評価がなされなければならない。その次の段階として、それらの鉱物塊を揚鉱し、精製するという手順が踏まれる。その中でも、5000mの深海底にあるマンガン団塊をどうして海上に運んでくるのかという揚鉱手段が大きな問題である。

マンガン団塊の揚鉱技術の開発は米国企業を中心としたコンソーシアム (Consortium) が最初に揚鉱実験を行い、その揚鉱に成功している。その後、フランスとインドが揚鉱の技術開発に着手しているが、揚鉱に成功したとは聞いていない。日本においては、1981年から工業技術院産業科学技術研究開発制度により揚鉱技術の開発研究が促進されている。揚鉱の方式にはいくつかのものがあるようであるが、米国のコンソーシアムが成功した揚鉱方式はエアリフト方式であり、その実績が買われて、この方式の採用が国内外で有望視されている。ところで、このエアリフト方式はほぼ5000mと見なされている海底までパイプを降ろし、その途中から空気をパイプの中に注入し、その浮力の効果を利用して鉱物塊を海上まで引き上げようとするものである。したがって、空気吹込み水深の位置より下方の管内流は固液2相流であり、それより上方の管内流は固気液3相流である。3相流領域においては、気泡が非常に重要な役割りを果たし、気泡の上昇によって海水が上昇し、その速度によって揚鉱の可否が決まる。また、気泡の密度は水深によって異なるが、水深3000mでは海水の密度の約0.4倍に達しており、浮力の効果だけでなく、重力も無視できない。

将来の資源制約を回避し、深海底鉱物資源が人類最後の地球上の有用資源として注目されており、その開発が通産省の大型プロジェクトとして推進されてきた。そのプロジェクトの一環として、200mの立て型水槽を用いた揚鉱実験が行われ、揚鉱と揚水の流動特性に

* 京都大学工学部資源工学科教授
〒606 京都市左京区吉田本町1

関する結果が工業技術院資源環境技術総合研究所から報告されている²⁾。また、近い将来、水深2000mの海洋実験の計画が着々と進められているらしい。著者が何となく気になる問題か1つあって、それは現在行われつつある深海底鉱物資源の開発に対して、学術的に整合性のある揚鉱モデルが確立されているのかどうか、あるいは単に過去の経験に基づく開発手法に依存しているのかどうか、ということである。というのは、2000mの海洋実験が行われることが本当なら、マンガング塊の賦存する水深5000mの鉱区の中で、むしろ実操業に近い本格的な実験が優先されるべきであると考えられるからである。そうでないと、200mの立て型水槽による揚鉱実験設備を単に長手方向に10倍のスケール・アップを行っただけの問題に帰してしまう。また、2000mの海底にマンガング塊が賦存しているのだろうか、他事ながら、疑問を感じる。もちろん、2000mの海洋実験に意義がないということではない。その海洋実験の成果が良と出るか否と出るかは別として、多くの国民が関心を寄せていることは事実であろう。仮りに、実験がうまく行かなかったとしても、その原因が解明できれば、実験の価値は十分認められるべきだろう。

少し話題は変わるが、著者が深海底鉱物資源の揚鉱システムに関心をもったのは、きわめて単純な動機に基いている。そのことを少し記述しておきたい。極く最近まで、空気中を自然落下してくる微細な液滴が平板と衝突する際の変形過程を、別な研究目的のために、数値解析を行っていた。そのとき着想したのは、液滴を気相に、周辺の空気を液相に置き換えると、液体中の気泡の運動の問題に置換できるのではないかということであった。支配方程式系は無次元化されており、レイノルズ数とフルード数を含む。界面の境界条件はウェーバ数を含む。したがって、液滴であっても、気泡であっても、方程式系と解析手順はほぼ同じであるので、非定常な気泡の変形挙動や気泡まわりの液体の流れ場が意外と簡単に計算できた。そこで、鉛道管内

を縦に並ぶ気泡列の流れ場の問題を友人と議論しているうちに、エアリフト方式に基づく揚鉱理論の問題に話題が変わり、次第に、その方面の研究に関心が湧いてきた。したがって、エアリフト方式による揚鉱システムの研究は、著者にとっては、未だ始まったばかりであるが、仲々興味ある課題だと思っている。

海洋は地球表面積の約7割を占め、雄大な空間をイメージする反面、深海底鉱物資源の開発は陸上資源の開発とは比較にならない多くの困難な問題が伴うことは容易に想像できる。少なくとも、21世紀の資源の安定供給の実現を目指し、深海底から有用鉱物を体系的かつ定常的に、しかも経済的に開発していくに当たっては、整合性のある学問的観点から鋭くアプローチされてこそ、深海底への挑戦が可能となるのではないだろうか。国家プロジェクトとしての深海底鉱物資源の重要性に比して、一般における理解が不十分なような気がするのとは具体性の欠如に由来していると考えられる。

揚鉱システムの理論の確立という点においては、揚鉱条件に応じて、吹込み空気量とその位置が決定でき、同時に、揚鉱量と揚水量の定量化が可能となるような信頼性の高い理論モデルの確立が、著者にとっては、どうしても必要な気がする。その意義は経済的採算の問題に帰する。これは工学的な意味での揚鉱効率の問題に直結する。やがて、陸上資源が減耗すると言っても、経済的にペイするかどうかの判断が不可欠であり、それを算定するためにも、上記理論モデルの確立が急がれる。

最後に、深海底から鉱物資源を本格的に開発を開始する時期はいつになるのか。すでに、月・惑星の探査・開発、月面の居住や宇宙コロニーの計画が提案されている現在、深海底の制覇が先決であろう。

参考文献

- 1) 西山 孝：資源経済学のおすすめ(1994)、中公新書。
- 2) 斎藤隆之他5名：エアリフト方式によるマンガング塊の揚鉱・揚水特性の無次元整理、資源・素材学会誌、107巻、5号(1991)、263~270。