

Development Div.), 材料開発研究部 (Mineral Utilization & Material Development Div.) および分析化学研究部 (Analytical Chemistry Div.) である。また、同研究所に属する総員数は約450名で、研究者 (Researcher) はそのうち300名強ということであった。

2. 韓国における深海底への現状認識

さて、韓国において深海底鉱物資源の調査および開発のための研究を実施しようとしているのは韓国資源研究所が主役となっているように思われる。上に述べた8部門の中で、当然のことながら、石油・海洋資源研究部のスタッフがそれを主に担当しているが、深海底鉱物資源の海底における集鉱や揚鉱の専門の研究者は数少ない。また、マンガン団塊やコバルト・リッチ・クラストの製錬のプロセスを専門にしている研究者も多数はいないと考える。少なくとも、筆者は韓国の深海底鉱物資源へのアプローチがかなり進展しているとか、現在進行中であるという段階には到達していないと考えている。これにはいくつかの要因がある。

その要因の一つは、韓国政府が北太平洋のマンガン銀座と呼ばれているC-Cゾーン (Clarion-Clipperton fracture zone of North Pacific) に鉱区の取得を決断し、マンガン団塊の開発研究が国家プロジェクトとしてスタートしたのが1992年で、先進諸国に比べると、相当遅れているように思う。筆者はこれらの事情にあまり詳しくはないが、我が国においては、1981年度から国家プロジェクトとして開発技術の研究が推進され、総額200億円で集鉱システム、揚鉱システムあるいは精錬システムなどの要素技術の開発を遂行し、これらの成果をもとに実験システムの詳細設計・製作と実海域における海洋総合実験が計画されているということである。さらに、我が国の研究開発は、1982年に非鉄金属、造船、重機械、海運に関連する企業および金属鉱業事業団からなる技術研究組合海底鉱物資源開発システム研究所が設立され、同組合への委託事業として推進されてきている²⁾。このような観点から韓国の深海底鉱物資源へのアプローチの状況を類推してみると、集鉱、揚鉱および精錬システムなどの要素技術の開発は、我が国の現状と比べてみると、いさか立ち遅れているというイメージを抱かざるを得ないだろう。そのように言ってしまうと、我が国の深海底鉱物資源の開発技術の研究がほぼ完成したかのよう想像できるが、恐らくそうではないと考える。我

が国において現在までに行われてきた開発研究によって、準備さえ整えれば、いつでも深海底から鉱物資源を引き上げることが可能であるという結論が得られているのかどうか、もし得られているとするならば、それに対する実験的かつ理論的な根拠は何処にあるのか、ということになる。そこまで突き詰めて考えてみると、韓国の研究がこれからスタートというのも決して遅れているとは言えないのかもわからない。

第二の要因は、韓国資源研究所の研究組織の半分に相当する4部門が地質・鉱物関連の部門であるということである。したがって、マンガン団塊の地質・鉱物学的性質に関する調査研究はかなり進んでいる。筆者が同研究所に滞在しているときも、スタッフの書いたいくつかの論文を手渡された。それがハングル文字で書かれたものが多いので、詳しい内容は理解できないが、マンガン団塊の組成、成因、形態、分類、成長過程などの地質・鉱物学的研究が突出しているように思われる。マンガン団塊の集鉱や揚鉱などを扱った実験や理論に関する論文はそれほど報告されているとは思えない。しかし、後で述べるが、高さ30mの揚鉱実験設備の建設を計画しており、本年度 (1998) 完成の予定である。図-2はその実験設備の計画図を示している。枠組の寸法は決定しているらしいが、揚鉱管の直径などの主要寸法、固相粒子の寸法などの詳細は未定であり、検討を依頼されている。計画図を作製した担当部長には若干失礼に思ったが、下部のタンクに水と共に貯蔵されている固相粒子群の揚鉱管最下端への吸入が不可能ではないかと言ったら、うなずいていた。いずれにしても、揚鉱システムについての話題ができるのはどうも彼だけらしい。事実、筆者の講演に対して質問してくれたのは彼だけであった。

第三の要因は、ハングル文字である。韓国には漢字がなくなりつつあるように思う。かといって、英語が韓国民に普及しているわけでもない。これは我が国の事情とよく似ている。韓国に到着してまず驚いたことは自動車の普及率が非常に高いことである。道路幅はむしろ日本のそれより広し、車線も多い。道路幅一杯に車がひしめき合っている。それらの車はすべて韓国産である。日本車、アメリカ車、ドイツ車などはまったくといっていいほど走っていない。道路標識はハングル文字で書かれている。その文字の下に小さく英文字が入っている場合もあるが、読みにくい。これらのことから短絡するわけではないが、民族意識が非常に強い国家であるという印象をもった。当然、学術論

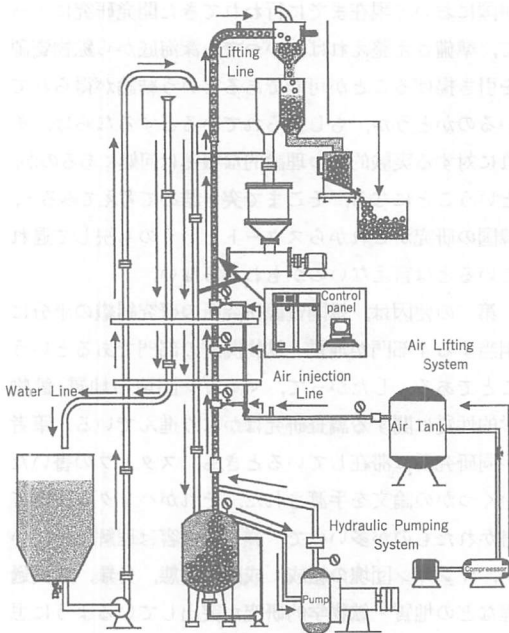


図-2 韓国資源研究所が建設を予定している揚鉱実験設備の計画図

文はハングル文字で書かれたものが多い。アブストラクトは英文であるから、その論文の概要は何となく理解できても、詳細な理解は困難である。これは、我が国においても日本語の学術論文は外国人学者に理解して貰えないから英文で書くことを主張する人が多いが、その意味がよくわかる。さもなければ、その論文のもつ独創性 (Originality) と創造性 (Creativity) を外国人学者に理解させることは不可能である。拡大解釈すると、その国の学術水準が外国に理解されないのではないかと思う。ドイツでは、ドイツ語で書かなければ掲載して貰えなかった世界的に評価の高い学会誌が、英語で書かなければ掲載して貰えなくなってきている。これは世界におけるドイツ語圏はそんなに広くないということをドイツ人学者が認識しているからである。また、我が国における規模の大きい学会では、和文誌と英文誌の2種類の学会誌が発行されている。さらに、英文誌だけを発行している学会も少なくない。英文誌には外国の学者が著者である論文が多く、その国の学術水準もわかるし、コミュニケーションし易い。当然、学問分野によっては韓国にも英文誌の発行があると思うが、どうも工学分野にはないようである。したがって、韓国の学術情報が外国へ伝達されない。同時に、外国の情報が韓国へ伝達され難くなるだろう。韓国事情がよくわからないから何ともいえないが、こと

によると、韓国においても混相流を専門に研究しているハイレベルの学者がいて、その成果を深海底鉱物資源の揚鉱に応用できる状況にあるのではないかと思う。結局、筆者が言いたいことは、深海底鉱物資源の研究開発も含めて、韓国の学術的研究は閉じた世界を自ら生み出しているのではないか、学問研究のビックバンが必要と感ずるが、筆者の思い過ぎだろうか。

3. 韓国における深海底資源に対する問題意識

韓国の社会を根底で律しているのは儒教思想である。倫理とか道徳とかいった人間の尊厳にかかわる規範はやはり儒教精神に根ざしているように思う。逆な観点から見ると、自ら閉じた世界を形成し、それが外国と一線を画することにもなるのではないかと想像したくなる。アメリカやヨーロッパあるいは日本の文化を易々と受容するような軟弱な風土を持ち合わせているとは思わない。ハングル文字で論文を書くのも、自国の尊厳の堅持の表現かもわからない。

筆者の講演は到着の翌日に催された。聴講者の数は30名弱であった。ほとんどは韓国資源研究所に所属している研究者達であったが、建設、重工、鉱業に関連する企業の人達も含まれていた。講演している間、聴講している人達は非常に緊張しているように思えた。

1時間強の講演であったが、最初の30分間は垂直管内を流れる混相流の支配方程式系の構築に関する問題を述べ、つぎの10分間はこれらの方程式系の数値解析の手順を述べ、残りの時間はガス相の流動様式の遷移を考慮した支配方程式系の妥当性を検証するために、この方程式系によって得られた数値結果を他の研究者の実験結果と比較し、両者の対応を述べた。講演のシナリオは、一昨年(1996)深海底資源の特集として本誌に掲載された筆者の記事の内容¹⁾に沿ったものではない。筆者の最近の研究成果をプレゼンテーションしてほしいという同研究所の意向に沿って、Int. J. Multiphase Flowに掲載は決定しているが、未だ掲載はされていない最新の研究成果³⁾を述べたのである。そのことも結論に加えて話した。

深海底鉱物資源の集鉱や揚鉱に関する実際的な問題への適用について多くの意見や質問を期待したが、それはなかった。さきに述べた揚鉱実験設備の計画図を作成した担当部長から一、二の質問を貰っただけである。とにかく、静かであった。欧米の雰囲気とはまったく異なる。何もかも儒教精神の性にするわけではないが、確かに韓国の人達は礼儀、道徳、倫理などの生

活規範は儒学の教義に律せられているように思う。いわゆる身分や年齢による上下関係は厳然として残っていて、若い人達が年上の人達をさしおいて自分の意見を主張するという習慣はないように思う。少し余談になるが、このような伝統を受けつぐ社会には、我が国のそれとは異なり、校内暴力とか家庭内暴力といった風潮から完全に隔離されているのには驚く。

さて、筆者のプレゼンテーションの翌日は深海底鉱物資源の集鉱と揚鉱に関する討論会を催した。参加者は5人であった。いろいろ議論するには丁度手ごろな人数であるし、討論会であるから積極的かつ活発な意見なり、前日の講演内容に関する質問などがあるのかなと思っただけ、そうでもなかった。むしろ、最初のうちは筆者の方から問題を提起し、何となく話し合うという感じの討論であった。深海底に転がっている鉱物塊の集鉱はロボティックスと船上でのモニタリングによってできると考えているらしい。また、揚鉱はエアリフト方式 (Air lifting type) とポンプサククション方式 (Pump suction type) を計画しているようである。これは、確かに、図-2に示されている揚鉱実験プラントを見ても、両方の方式の実験が可能になるように計画されている。さらに、集鉱された鉱物塊群の揚鉱管への給鉱方式も話題になった。船上から揚鉱管を鉛直に降ろし、管底部をベンドを介して水平にし、その端部と集鉱機を直結するということである。どこかによく見かける概念図に似ている。鉱物塊群の最初の運動量はゼロである。それらが管端部へサククションされることによって水平方向の運動量をもつが、それらへの運動量がベンド部で失われて管閉塞を起こすのではないかと、海底5000mで管閉塞を起こせばその修復作業が大騒動になるのではないかと、という筆者の指摘に対しては、とくに意見がなかった。ほぼ5000mもある揚鉱管の強度についても議論の対象となった。海流のために、揚鉱管の下流側にカルマン渦が発生し、それによって振動が起こり、揚鉱管が疲労破壊する可能性のあることなどを議論した。また、集鉱機を走行させるとすれば深海底を掻き混ぜることになるので、深海底の環境を破壊するのではないかと、さらに揚鉱管を上昇してきた海水を浄化してから海洋へ戻すのかどうか、しかもその大量の海水を浄化することができるのか、という環境破壊の懸念も問題提起の一つとなった。さらに、揚鉱されたマンガン団塊の分離精製をどこで行うのか、一旦陸上へ運搬するとすればその輸送手段は決められているのか、なども重要な話題となった。

討論は2時間以上続いたと思うが、深海底鉱物資源を集鉱して、それらを揚鉱管へ給鉱し、船上まで揚鉱してくるという本来の実質的作業を遂行するには、その周辺にあるいろいろな問題を解決しておくことが重要であることが確認されたように思う。アメリカやヨーロッパ、そして我が国などの経済先進国がレアメタル資源の持続的安定供給の確保を計るために、深海底資源の開発研究に着手したのが1970年代とされている。それ以後において、集鉱システム、揚鉱システムあるいは精錬システムなどの要素技術の開発研究のほかに、海洋における環境評価システム、海底保護システム、鉱物資源輸送システム、開発によって生ずる廃棄物処理システムなどの重要課題が国際的な観点から解決されているのだろうか。海洋法に関する国際連合条約が1994年に発効され、条約上の深海底の探査と開発スキームに対する妥協が得られたというものの、深海底の資源をめぐる国際情勢が安定したわけでもない⁴⁾。また、海洋環境の評価や保護のための法令が制定されたとしても、技術的な観点から見て、完全にそれに従うことは不可能、と考えるのは筆者だけでなく、議論に参加した韓国の研究者も同じである。

4. 韓国の深海底資源開発の研究動向

韓国政府がハワイ南東のC-Cゾーンと呼ばれる地域に鉱区の取得を決断し、マンガン団塊の開発研究が国家プロジェクトの地位を占めたのは1992年ということである。我が国が、深海底に賦存するマンガン団塊の賦存状況と品位を調査するための活動を1960年代から開始し、金属鉱業事業団に所属する白嶺丸による調査が1970年度より5年間続けてなされたのに比べると、韓国のスタートは約20年遅れたことになる。さらに、1980年には、我が国はじめてのマンガン団塊専用船第2白嶺丸を建造し、マンガン銀座における調査に導入された。それには世界最新鋭の探査機器を搭載し、我が国のマンガン団塊の賦存状況調査を飛躍的に向上させている²⁾。

韓国は、1996年海洋調査船R/V TAMHAE IIを建造した。その長さは64.4m、幅15.0m、喫水5.0mおよび自重2100トンということである。図-3はそのプロフィールを示している。第2白嶺丸より優れたハイテク機能を備え、自重も第2白嶺丸が2000トンであるからそれをしのぐ規模であると聞いている。それまでは海洋調査船R/V ONNURIが用いられ、海洋調査は活発に行われてきている。何年前からか知らない

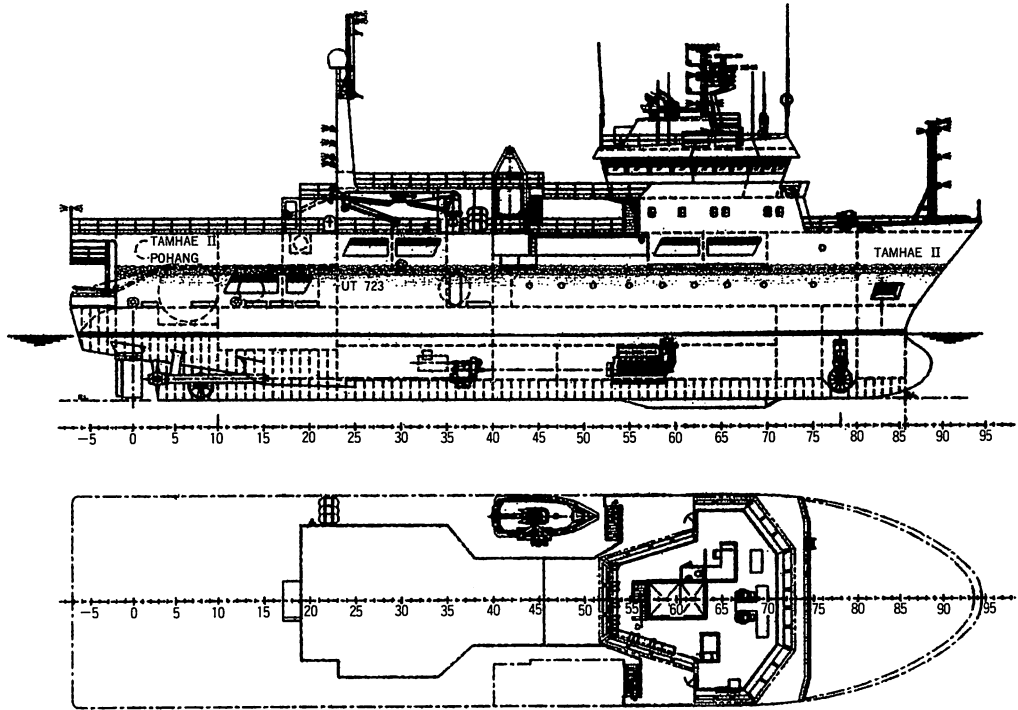


図-3 海洋調査船R/V TAMHAE IIのプロフィール

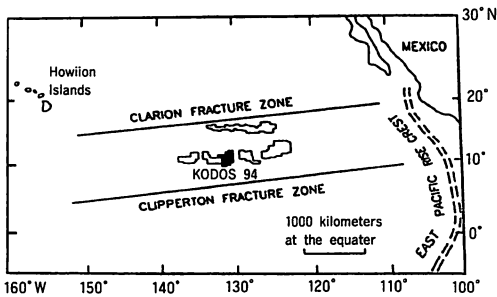


図-4 C-Cゾーンにおけるマンガン団塊開発の韓国の
 鉱区(黒く塗りつぶされた部分)

が、毎年確実に海洋調査が実施されており、KODOS-94というのはKorea Deep Ocean Study-94の略で、1994年度韓国深海研究を指している。図-4は1992年以降の調査地区で図中の黒く塗りつぶされた領域が韓国の鉱区である⁹⁾。

さて、韓国は上に述べた新旧二つの海洋調査船を用いて、自国の鉱区に所属しているマンガン団塊の賦存状況と品位を探索し、それらを揚鉱して経済的にペイする価値があるのかどうか、いつごろから開発を開始すればよいのか、などの結論を検討している段階にあると考える。また、我が国を含めた先進国が、なぜか

最近の深海底鉱物資源開発の研究、とくに、集鉱システムや揚鉱システムに関する研究は、陸上資源の枯渇とは裏腹に、停滞あるいは後退している現状を認識していることも容易に想像できる。我が国においても、経済的に採算が合わないという理由から、その開発は来世紀の半ばになるという噂を耳にする。少しのんびりしすぎというイメージを抱くが、実海域における海洋総合実験が未だなされていないというのも、そのためであろうか。韓国にしてみれば、その間に諸外国の深海底資源開発の動向が調査できるし、自国における開発研究の基礎を固めることもできる。

さて、米国企業を中心としたコンソーシアム(Consortium)が世界で最初に深海底のマンガン団塊の揚鉱実験に成功したのが1978年である。しかし、その後のプロジェクトを取り巻く環境は不思議に停滞気味である。アメリカに続くのは我が国であると期待しているが、その気配はない。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ったと聞いているが、その実績が買われて、国内外においてこの方式の採用が有望視されている。ガスを揚鉱の駆動力とするエアリフト方式の力学は、ガスの流動様式が遷移するので、流体力学的にはなかなかむづかしい。筆者は韓国

資源研究所の揚鉱システムの開発グループから共同研究を依頼された。前に述べたように、同研究所では、揚鉱実験プラントを本年度の早い時期に建設される予定になっている。

韓国は、実験は同研究所で行い、その実験データの理論的解釈を筆者に依頼しているのである。エアリフト方式において、注入されるべき空気量とその位置の決定は困難な問題である。空気注入位置より下流の領域においては、空気は小さな離散的な気泡であっても、揚鉱管内を上昇するにつれて、気泡の合体が起こりスラグ流 (Slug flow) と呼ばれる流動様式に遷移する。これは気泡の上端部が丸く、下端部がフラットな砲弾によく似た形態になり、それを気泡スラグと呼んでいる。だから、気泡スラグと液相スラグが交々に秩序正しく並んで管内を上昇する。しかし、まだ管が続くと、チャン流 (Churn flow) となり、管状流 (Annular flow) となり、噴霧流 (Mist flow) となる。大学における筆者の研究室においては、実験に用いている揚鉱管の長さは高々3mしかとれない。同研究所が計画している実験プラントの揚鉱管の長さは約30mである。30mもあると、先に述べたガス相の流動様式の遷移が見られ、筆者の理論モデルによって得られる流動特性値と実験によって得られるそれとの対応が検討できる。

韓国は、数年後には実海域における海洋実験を実施するだろう。どの程度の規模の実験設備を計画しているのかわからないが、上記の30m実験プラントを用いた基礎実験のデータ解析に基いて実験システムの詳細設計・製作がなされるのは確実である。深海底にあるマンガン団塊を船上に引き揚げるができなければ、処理も加工もできない。したがって、揚鉱システムの開発が最重要視されるのは当然であろう。しかし、揚鉱管内の流動は、学問分野としては流体力学に属すると考えられる。その中でも、混相流体の力学に属する。混相流を記述し、解析することのできる基礎方程式がまだ十分に確立されていないとされているものの、工学的観点から見れば、方程式の記述は不可能ではない。したがって、揚鉱システムの最適化に対する理論モデルの確立はやがて実現可能と考える。それに対して、集鉱とか揚鉱管への給鉱は理屈ではなく、着想とかアイデアの問題である。当然、液相は揚鉱管の下端部に位置する吸入管へ吸い込まれる。しかし、鉱物塊の吸

入はむずかしい。これは実験のために無理矢理給鉱するのではなく、そこにあれば自然に吸入管へ入っていくような給鉱システムの確立が望まれる。

要するに、実験設備を製作し、揚鉱実験をやってみると、期待通りには作動しないのが普通である。最初からうまくいくことは珍しい。失敗を繰り返すのが実験である。韓国において実験データがとれるまでは時間がかかるだろう。再現できる実験データが入手されれば、筆者の方で理論解析してみたいと思っている。韓国における深海底への挑戦はこれからである。

5. おわりに

韓国における著者の滞在期間は足かけ6日間、正味4日間である。ここ数年いつも招待を受けながら、やっと訪韓する気になった。深海底鉱物資源の揚鉱理論に関する筆者の最新の研究を講演した。また、開発に付随する環境評価、海底保護、揚鉱された鉱物資源の輸送、海洋における廃棄物処理などの問題についての討論も行った。講演や討論を通じて、韓国の深海底資源に対する熱意の高揚を感じたが、深海底に対する挑戦はこれからであると思っている。日本名竹島、韓国名独島の帰属に対して、両国がそれぞれ歴史的根拠をとりあげて、領有権の主張を行い対立している姿が信じ難い。せめて、深海底鉱物資源の開発研究は両国共同に推進していければと願う。なぜなら、深海底は人類共通の場であるからである。

参考文献

- 1) 八田夏夫, 「マンガン団塊揚鉱システムの流体力学的検討と問題点」 エネルギー・資源, vol.17, No.1, (1996), p50-56.
- 2) 資源エネルギー年鑑, 資源エネルギー庁監修, 通産資料調査会.
- 3) N. Hatta, M. Isobe, and H. Fujimoto; "Theoretical Analysis of Flow Characteristics of Multiphase Mixtures in a Vertical Pipe" To be published in Int. J. Multiphase Flow in 1998
- 4) 菊池英弘, 「国連海洋法条約と深海底鉱物資源開発」 エネルギー・資源, vol.17, No. 1, (1996), p35-40.
- 5) Chan-Hee Lee, Sung-Rock Lee and Se-Won Chang; "Internal Texture, Geochemistry of Manganese Nodules from the Clarion-Clipperton Zones, Pacific" (in Korean language), Jour. Geol. Soc. Korea, VOL.32, No. 2, (1996), P.187-198.