

■ 特 集 ■ 採鉱技術からみた資源開発

## 海水からの核燃料資源の回収について

### Collection of Nuclear Fuel Resources from Sea Water

古 屋 仲 芳 男\*

Yoshio Koyanaka

#### 1. はじめに

現在、核燃料資源といえば、一般には、ウラン、トリウムおよびプルトニウムなどの核分裂性のものとされているが、近い将来においては、核融合炉の実用化に伴って、重水素および三重水素などの核融合性のもも、合わせて、必要となることが予想されている。

これらの、現在あるいは将来の核燃料資源のうち、天然海水中に存在しているものは、炭酸ウラニルイオンの状態で、海水1 m<sup>3</sup>当り3.34 mg溶存しているウランと、水の構成成分である水素の同位体として、存在比0.0139~0.051%の重水素とである。

また、三重水素は、人工元素であって、海水中には存在していないが、その代りに、三重水素の原料となるリチウムが、海水1 m<sup>3</sup>当り0.1~0.2 g溶存している。

このように、海水中には、現在あるいは将来の主要な核燃料資源であるウランおよび重水素ならびに、三重水素の原料となるリチウムが、濃度は、きわめて希薄ではあるが、全体の溶存量としては多量に含まれている。したがって、それらの回収技術が開発されるならば、将来、わが国で必要な核燃料資源の大半を海水から供給する可能性もあるといえる。

以上の観点から、本報では、著者が、1969年以來、手掛けて来た海水からのウランおよびリチウムの回収技術の現状と将来について概要を述べる。

#### 2. ウランの回収

##### 2.1. 濃度と溶存状態<sup>1)~2)</sup>

海水中のウランの溶存濃度については、1935年以來、主なものに限っても21報に及ぶ多数の報文があるが、

いずれの分析値も0.36~4.5 mg/m<sup>3</sup>の範囲内である。

最近の同位体希釈法やケイ光光度法による海水分析データでは、海水1 m<sup>3</sup>当り3.34 mgのウランが溶存していることが確認されている。しかしながら、この値は、外洋で採取された標準海水の分析データであり、海岸付近で採取される海水中のウラン濃度は、この値よりも、かなり低い値となる。したがって、ウラン回収の対象となる海水については、1 m<sup>3</sup>中に3.0 mg未満とするのが適切であるといわれている。

次に、海水中におけるウランの溶存状態は、一部、海水中の懸濁物質に吸着されているものを除けば、そのほとんどが、炭酸ウラニルイオン  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$  であることが確められている。

##### 2.2. 溶存量

海水中のウランの溶存濃度を、海水1 m<sup>3</sup>当り3.0 mgとし、世界の全海水量を  $1.37 \times 10^9 \text{ km}^3$  とすれば、世界の海水中の全ウラン溶存量は、41億1000万tということになる。また、海水中のウランの一部は、水酸化鉄コロイドなどの沈殿物に吸着されて海底へ沈積するが、同時に、年間2万7000tのウランが世界の河川から流入しており、その結果、海水中のウラン溶存量は、ほぼ一定に保たれているともいわれている。

日本の太平洋側を流れる黒潮についての推算では、年間200万tのウランが、その海流と共に移動していると報告されている。

現在の世界の陸上ウラン資源の推定量が100~150万tであることと比較すれば、海水中に溶存しているウラン資源量が、きわめて多量であることがわかる。

##### 2.3. 回収技術の現状とその問題点

現在までに、世界の各国で検討されて来た海水からの、主なウラン回収方法を分類すると、溶媒抽出法、浮選法、有機イオン交換体法、無機イオン交換体法、

\* 大分工業大学土木工学教室教授・工博  
 ☎ 870-03 大分市一木

化学沈殿法および複合吸着材法となる。これら6つの方法について、その概要を述べると次のようである。

#### (1) 溶媒抽出法<sup>22)</sup>

ジブチルりん酸をジブトオキシジブチルエーテルあるいはケロシンに溶かした試薬を抽出剤とする連続溶媒抽出法によって、20ℓの海水から0.06 mgのウランが回収された。これは、海水中のウランの90%以上が回収されたことを示している。

しかしながら、この方法は、小規模な実験では、成功をおさめたが、抽出剤の損失量が多く、試薬コストが高つくこと、および抽出前に海水のpHを弱酸性に調節する必要があることなどのために工業化は困難であった。

このような抽出剤の損失は、抽出技術の改良によって防止できると考えられるが、実用規模では、きわめて大量の海水を取扱う必要があるため、海水のpHを弱酸性まで低下させるというような事前操作は不可能である。

海水からウランを、実用規模で回収する際には、このような海水のpHの調節に限らず、海水の温度や塩成分濃度などの条件についても、事前に変更することは、大量の海水を対象にしなければならないことから不可能である。

以上のように溶媒抽出法は、工業化には成功しなかったが、その研究成果は、海水中に溶存する希薄なウランの90%以上を回収できることを初めて確認した点で、その後の、海水からのウラン回収技術の進展に大きく貢献した。

#### (2) 浮選法

浮選法によって、海水からウランを回収する方式では、イオン浮選法とコロイド浮選法とが、主として検討された。

##### (a) イオン浮選法

イオン浮選法は、海水に特殊な界面活性剤を加えて発泡させ、生じる気泡の表面にウランを吸着させて浮上回収する方法である。

イオン浮選法を適用するに当たって、最も重要なことは、捕収剤の選択である。これまで、海水からのウランを回収するために検討された捕収剤は、きわめて多種類にわたっており、その結果、陰イオン性および陽イオン性の界面活性剤が有効であることが確認されている<sup>23)</sup>。中性の界面活性剤についての報告はなされていない。

まず、陰イオン性界面活性剤としては、カルボ

ン酸系、りん酸エステル系およびスルホン酸系あるいは、それらの複合化合物が検討され、りん酸エステル系のものが最も有効であった<sup>24)</sup>。

また、最近では、ジカルボン酸系のセバシン酸カリウムを捕収剤とする研究がなされた<sup>25)</sup>。この方法では、pH 3~7の領域で、ウランの浮遊が認められ、pH 5付近では93%のウランを回収できた。浮遊したウランは、スカムの状態で回収され、高い濃縮効果が認められた。しかしながら、ウラン回収の対象となる標準海水は、pH 8.2前後であるので、大量の海水のpHを事前に5前後まで調節する必要があるため、溶媒抽出法と同様に、この方法も工業化は困難であろう。

次に、陽イオン性の界面活性剤としては、ジアミンや塩化ベンザルコニウムおよび各種の第4級アンモニウム塩が検討された。その結果、ジアミンや塩化ベンザルコニウムは、ウランに対する捕収性は良好であるが発泡性に劣しいことが確かめられた。

第4級アンモニウム塩の一種であるヘキサデシルトリメチルアンモニウムクロライドを捕収剤とした最近の研究では、pH 8付近で、95%のウランが回収された<sup>26)</sup>。

##### (b) コロイド浮選

コロイド浮選は、すでに、著者によって、放射性廃水処理法として実用化されている共沈浮選法<sup>27)</sup>と同種の方法であり、水酸化鉄コロイド沈殿に海水中ウランを共沈させた後、気泡に付着浮上させて回収する方法である。この方法では、海水中のウランをpH 6.7で、水酸化鉄コロイドと共沈させた後、ドデシル硫酸ナトリウムを捕収剤として浮上させて回収し、82%のウランが回収された<sup>28)</sup>、<sup>29)</sup>。しかしながら、この方法でも、事前に、海水のpHを調節する必要があり、工業化は困難と思われる。

以上、浮選法の現状と問題点について述べたが、工業化の際には、それらに加えて、浮選法に共通の問題として次のようなことが予想される。(i) 実用規模では多量の特殊な界面活性剤を必要とし、しかも、その再使用ができないので試薬コストが高くなる。(ii) 多量の界面活性剤による海洋汚染。(iii) ウランを吸着した界面活性剤スカムからのウランの分離。

##### (3) 有機イオン交換体法

海水からウランを回収するために、これまで、きわめて多くの有機イオン交換体が開発されたが、その中で最も高いウラン吸着量を示したものは、レゾルシンピ化水素酸系の合成樹脂<sup>30)</sup>である。この樹脂は、海水と112日間接触させたところ、樹脂1kg当り1.01gのウランが吸着した。しかしながら、その後、この系統の樹脂は、いずれも海水中で不安定であって、ウラン吸着能が低下することが明らかになったため、実用化にはいたらなかったといわれている。

長期の再生使用に耐えることのできる、この種の有機イオン交換体が開発できた場合は、最も理想的なウラン回収の工業化が実現することになるが、これまで、きわめて広範囲にわたる有機イオン交換体の研究開発がなされたことから、今後、そのような理想的な有機イオン交換体が開発される可能性は少ないものと思われる。

#### (4) 無機イオン交換体法

無機イオン交換体法としては、著者によって、方鉛鉱による方法が検討された<sup>31), 32)</sup>。その結果、方鉛鉱1kg当り0.55gのウランが回収できることが確かめられた。

方鉛鉱は、鉛の硫化鉱物である。したがって、硫化鉛の化学沈殿(PbS)とは、全く異った特性を示し、海水中でも安定で、長期の再生使用も可能であった。

粒度100~200 meshの大きさの方鉛鉱細粒を接着剤によってステンレス金網に接着させたものを海洋中に、つるすことによる海洋実験も実施され、かなりの成功をおさめ、それに基づいて工業化も検討された<sup>33)</sup>。

しかしながら、粒度100~200 meshの方鉛鉱粒を成層させて海水を通水する際に、工業化に十分な通水速度が得られないことがわかった。また、同時に、海水の通水によって、きわめて短期間内に、方鉛鉱層は閉塞して、通水速度が低下することも認められた。これは、海水中のコロイド状の懸濁物、あるいは海水中の微生物の繁殖によると推察された。

このような通水速度の低下を除くために、上昇流を方鉛鉱粒と接触させる方法を試みた。その結果、所定の通水速度は得られたが、ウランの吸着率が低下し、さらに、無視できない量の方鉛鉱スライムが逸出することになった。

方鉛鉱を吸着材とする方法は、以上のような大量の海水と方鉛鉱細粒との接触の困難のために工業化

にいたらなかった。

このような工学的困難は、あらゆる吸着材に共通する問題であり、工業化を検討する場合に十分に留意する必要がある。

#### (5) 化学沈殿法

化学沈殿物に、海水中のウランを吸着させて沈積その他の手法で回収する方法である。

これまでに検討された化学沈殿としては、水酸化第2鉄、水酸化アルミニウム、水酸化チタン、硫化鉛、ピロりん酸鉛、塩基性炭酸亜鉛、りん酸カルシウム、アルミノゲル、フェリゲルおよびチタノゲルなどがある。

金属水酸化物のうち、海水中で安定でしかも、最も良好なウラン吸着性を示したのは、水酸化チタンであり、沈殿1kg当り最高1.50gのウランが吸着した<sup>34)</sup>。

硫化物沈殿では、硫化鉛が0.338g/kg、ピロりん酸鉛が0.479g/kgの吸着能を示したが、いずれも、海水中では、不安定であった<sup>35)</sup>。りん酸カルシウム、アルミノゲル、フェリゲル、チタノゲルなどは、1ℓ当り0.07~0.17gのウランが吸着した<sup>35)</sup>。

化学沈殿を吸着材とする場合は、大量の海水と吸着材との接触が特に問題となる。これまで、布や金網に当該化学沈殿を固定して海水中に吊したり、化学沈殿自体を粒子状に成型したものなどが検討された。布や金網に固定したものは、海流中では、はく離が生じることがあり、また、粒子状にした場合は、化学沈殿の単位重量当りの表面積が著しく減少することになり、その結果、ウランの吸着能が低下することになる。粒子状化学沈殿が、高いウラン吸着能を示したとしても、なお、方鉛鉱の場合と同様に、工業化するための十分な通水速度を得るといふ工学上の困難がある。

#### (6) 複合吸着材法<sup>36)~43)</sup>

この方法は、主として活性炭表面に金属水酸化物を吸蔵させた複合吸着材によって海水中のウランを吸着させて回収する。

複合吸着材1kg当り0.3~1.2gのウランが回収された。複合吸着材の場合は、化学沈殿のみの場合よりも化学沈殿の単位重量当りのウラン吸着量が増加することがあり、固定材である活性炭の吸着能が何んらかの形でウラン吸着能の向上に関与することになるものと思われる。この方法は、現在、わが国において、工業化を目指して、鋭意、検討されている。

## 2.4. 工学的課題<sup>44), 45)</sup>

長期再生利用に耐える理想的なウラン回収材が開発され、仮りに、回収材1kg当り0.5gのウランを回収することができたとする。この回収材を用いて、海水中のウランの30%が回収されたとしても、経済的見地から、わずかに1kgの回収材に、常時、500m<sup>3</sup>の大量の海水を、かなりの短時間内に接触させることが必要となる。

また、同様な計算を、ウランの年間回収量に関連して行なうと、年間1000tのウランを回収するには、1日に30億m<sup>3</sup>という大量の海水を回収材と接触させなくてはならないことになる。

以上の計算結果からわかるように、理想的なウラン回収材が開発されても、それを用いて実際に、海水からウランを回収するためには、回収材とぼう大な量の海水とを、かなりの短時間内に接触させるという非常に困難な工学的課題を解決しなければならないわけである。そのために、これまで、潮汐ダム方式、ポンプカラム方式、スラリー方式および直接海流方式などが提案されたが、いずれの方式においても、一長一短があり、十分な解決がなされていないのが現状である。

また、工業化に際しては、以上のような海水との接触問題ばかりでなく、多量の回収材を用いる場合の回収材構成成分の溶出やスライムの逸出の問題、あるいは、海洋微生物による回収材層の目づまりや回収材そのもののウラン吸着能の劣化のような実際的な問題も予想される。このような点については、まだ、全く検討されていない。

## 3. リチウムの回収

### 3.1. 海水からのリチウム回収の必要性

核融合反応には、重水素を融合させるDD反応および重水素と三重水素とを融合させるDT反応があるが、現在、可能性が大きいのは、DT反応であるといわれている。したがって、核融合炉の実用化の際には、重水素と同時に三重水素も必要である。

三重水素は、天然にはなく、リチウムに中性子線を照射して製造される。このようなわけで、核融合炉の実用化の際には、三重水素の原料物質として多量のリチウム資源を確保しなくてはならない。

リチウムは、すでに、重合触媒、脱酸剤あるいは合金添加物として利用されている<sup>46)</sup>が、現在、用いられているリチウムは総て、鱗雲母あるいはリチア輝石のような陸上の鉱石から採取されたものである。このよ

うな鉱石からの陸上リチウム資源の存在量は、世界全体で、1000万t程度と推定されており、陸上リチウム資源のみでは、将来の世界の核融合炉の燃料を確保することは困難であるといわれている。

特に、わが国の陸上リチウム資源は、きわめて劣しく、現在のような少ない需要も総て外国からの輸入に依存している。したがって、海水からリチウム資源を回収することは、わが国はもとより世界的にも重要な意義があるものと思われる。

### 3.2. 海水中の濃度と溶存量<sup>47)~54)</sup>

海水中のリチウムの濃度については、これまで、かなり多くの分析結果が報告されているが、いずれも、海水1m<sup>3</sup>当り0.09~0.2gの範囲内の値である。

分析値が広範囲にわたっているのは、外洋の標準海水の分析値と海岸に近い海水の分析値とでは、ウランと同じように、かなりの相異があるためとも考えられるが、同一場所でも、水深によって相異があるという報告もあるので一概にはいえない。

海水中のリチウム濃度を、仮りに0.15g/m<sup>3</sup>とみなして、海水中のリチウム溶存量を計算すると次のようである。

世界の全海水量を $1.37 \times 10^9 \text{ km}^3$ とすると、その中に溶存する全リチウム量は、約2000億tに達する。

この値は、ウランの溶存量の約50倍に当たる。また、黒潮について推算すると、年間約1億tのリチウムが、この海流とともに移動していることになる。

以上のように、海水中に溶存するリチウム資源は、無尽蔵であるといえることができる。

### 3.3. 回収技術の現状とその問題点

海水中のリチウム溶存濃度は、以上述べたように、ウランの約50倍に相当するので、その回収はウランに較べると、あらゆる点で有利である。しかしながら、海水中には、多量のアルカリ金属塩やアルカリ土類金属塩が溶存しているために、リチウムを選択的に回収することは、かなり困難である。特に、海水中に多量に溶けているマグネシウムは、リチウムと化学的性質が最も類似しているため、リチウムの選択的回収を著しく妨害するものと思われる。

海水からのリチウムの回収技術については、すでに溶媒抽出法、有機イオン交換樹脂法、化学沈殿法および複合吸着材法などが検討されている。

まず、溶媒抽出法については、TTAとTBPの混合抽出剤によって、海水中のリチウムが回収できることが確認されている<sup>55)</sup>。しかしながら、溶媒抽出法では、

多量の海水と接触させる場合の抽出剤の損失や pH 調節の必要などから、ウランの場合と同様に、工業化は、きわめて困難であることが予想される。この方法は、苦汁やかん水のように、すでに、リチウムが濃縮された液に適用する方が有利であろう。

次に、有機イオン交換樹脂法では、純水で再生することのできる特殊な有機イオン交換樹脂を用いる方法が報告されている。この方法では、海水中のリチウムを樹脂に吸着させた後、アルコールを用いて溶離して濃縮する方式<sup>56)</sup>と、純水を用いて溶離し、その溶離液の初流中にリチウムが濃縮されることを利用する方式<sup>57)</sup>とが検討されている。

アルコールで溶離する方式では、リチウムが原海水中の濃度の約50倍まで濃縮されることが確認されたが、多量のアルコールを必要とするため、工業化は、経済的に困難であるといわれている。

純水で溶離する方式では、1回の操作で、リチウムが、原海水中の濃度の1.4~2.3倍に濃縮された。しかしながら、全溶離液の1/10量の初流をリチウムの濃縮液として採取するので、回収されるリチウムの絶対量が、少なくなるという難点が指適された。現在、この方法の自動濃縮装置が試作されており、工業化が検討されている。

複合吸着材による方法では、含水酸化アルミニウムと活性炭との複合吸着材および二酸化マンガ添加含水酸化アルミニウム吸着材が検討され、前者では、吸着材1kg当り0.03~0.58gのリチウムが吸着し、後者では、1kg当り0.6~0.64gのリチウムが吸着することが確認された<sup>58)</sup>。

以上は、海水から直接に、リチウムを濃縮あるいは回収する方法であるが、製塩の際の、かん水や苦汁中には、リチウムが海水の40~250倍に濃縮<sup>59)</sup>されているので、かん水や苦汁からもリチウムを回収する可能性もある。この点に関しては、すでに、アルミン酸塩を加水分解する際に選択的にリチウムが吸着<sup>60)</sup>することを応用して、高濃度の、かん水からリチウムを採取した報告がなされている。

#### 4. おわりに

海水からのウラン回収については、以上に述べたように、きわめて多くの方法が検討されたにもかかわらず、いずれの方法も実験段階にとどまり、工業化には至っていない。現在、わが国では、工業技術院四国工業技術試験所において、活性炭と金属水酸化物沈殿と

の複合吸着材による方法の工業化が検討されており、その結果に、世界的にも大きな期待がよせられている。

また、海水からのリチウムの回収については、核融合炉の実用化まで、まだ、かなりの時間的余裕を残しているが、リチウム資源の場合は、わが国ばかりではなく、世界的にも陸上資源が限られているので、核融合炉の実用化が近づくにつれて、海水からの回収が、ウラン回収の場合以上に、重要視されることが予想される。わが国における海水からのリチウム回収の研究は、上述のように、まだ、緒についたばかりであるが、近い将来の核燃料資源の確保のために、今後の進展が大いに期待されている。

#### 参 考 文 献

- 1) F. Hernegger : Goteborgs kgl. Vetenskaps-Vitterhellsamhäl. Handl. Ser B, 4, 15 (1935)
- 2) E. Föyn, B. Karlik, H. Petterson, E. Rona : Nature, 143, 275 (1939)
- 3) G. Koczy : Oster. Akad. Wiss., Math. Nature kl. Abst. 2a, 158, 113 (1950)
- 4) M. Nakanishi : Bull. Chem. Soc. Japan, 24, 36 (1952)
- 5) E. Rona : Am. J. Sci., 250, 241 (1952)
- 6) A. P. Smith, F. S. Grimaldi : Geol. Suru. Bull., 1006, 111 (1954)
- 7) D. C. Stewert, W. C. Bentley ; Science 120, 50 (1954)
- 8) J. Korkish, A. Thiard, F. Hecht : Mikrochim. Acta, 1422 (1956)
- 9) E. Rona : Trans. Amer. Geophys. Union 37, 697 (1956)
- 10) V. I. Baranow, L. A. Khristianova : Geokhimiya 619 (1959)
- 11) E. Bayer, H. Fiedler : Angew. Chem, 72, 921 (1960)
- 12) J. D. Wilson, R. K. Webster, G. W. C. Milner, A. A. Smales : Anal. Chem. Acta, 23, 505 (1960)
- 13) 松下, 佐藤 : 日本塩学会誌14, 153 (1960)
- 14) D. S. Nikolaev : Doklady Akad. Nauk, SSSR, 132, 1411 (1960)
- 15) H. V. Weiss, M. G. Lai, A. R. Gillespie : USNRDL- TR- 496, 22 (1960)
- 16) H. V. Weiss et al : Anal. Chim. Acta, 25, 550 (1961)
- 17) M. Ishibashi et al : Records Oceanogr. Works Japan 6, 106 (1961)
- 18) R. Viswanathan et al : J. Indian Chem. Soc 42, 35 (1965)
- 19) Y. Miyake, Y. Sugiura : J. Geophys. Res. 71, 3838 (1966)
- 20) 尾方, 井上 : 日本海水学会誌, 23, 148 (1970)
- 21) 重松恒信 : 日本海水学会誌, 32, 150 (1978)
- 22) R. V. Davies et al : Nature, 203, 1110 (1964)
- 23) F. Sebba : Ion Flotation, Elsevier (1962)
- 24) 山辺, 高井 : 日本海水学会第19年会 (1968)
- 25) 芝田, 西村, 向井 : 浮選誌, No.55, 2 (1975)

- 26) 文献<sup>25)</sup> P. 3 (1975)
- 27) 古屋伸芳男: KURR-TR-73 (1970): 学立論文(京都大学) (1969)
- 28) Y. S. Kim, H. Zeitlin: Anal. Chem., 43, 1390 (1971)
- 29) Y. S. Kim, H. Zeitlin: J. Chem. Soc., D., No13, 672 (1971)
- 30) 文献22) に同じ。
- 31) Y. Koyanaka: J. Nucl. Technol., 7, 40 (1970)
- 32) Y. Koyanaka: Bull. Oita Inst. Technol., 5, 98 (1976)
- 33) 古屋伸芳男: エネルギー誌, 4, 13 (1971)
- 34) 尾方昇: 日本原子力学会誌, 13, 121 (1971)
- 35) 文献22) に同じ。
- 36) 仁宮, 菅坡, 藤井: 工化, 74, 1486 (1971)
- 37) 藤井, 宮井, 高木, 菅坡, 宮崎: 日本海学会誌, 27, 309 (1974)
- 38) 菅坡, 加藤, 藤井, 宮井, 高木, 宮崎: 日本海学会誌, 30 [1] 43 (1976)
- 39) 加藤, 菅坡, 藤井, 高木, 宮井: 日本海学会誌, 30 [3] 118 (1976)
- 40) 同上: 日本海学会誌, 31 [1], 7 (1977)
- 41) 加藤, 菅坡, 藤井, 高木: 日本海学会誌, 31 [3] 128 (1977)
- 42) 宮井, 高木, 北村, 加藤, 宮崎: 日本海学会誌, 32 [2] 89 (1978)
- 43) 宮井, 北村, 高木, 加藤, 宮崎: 日本海学会誌, 32 [3] 141 (1978)
- 44) 尾方昇: 日本海学会誌, 30 [1], 4 (1976)
- 45) 菅野昌義: 日本海学会誌, 31 [4] 155 (1977)
- 46) 田村: 技術と企業, 11, 18 (1974); 川口: 新金属ハンドブック, 化学工業社, 1 (1969)
- 47) H. U. Sverrick et al.: THE OCEAN. Prentice Hall Inc. (1946)
- 48) T. J. Chow, E. D. Goldberg: J. Mar. Res., 20, 163 (1962)
- 49) J. P. Riley, M. Tongudai: Deep-Sea Res., 11, 563 (1964)
- 50) E. E. Angino, G. K. Billings: Geochim. Cosmochim. Acta, 30, 153 (1966)
- 51) 重松, 鈴木, 田伏: 日本海学会誌, 22, 348 (1969)
- 52) 藤井, 菅坡, 宮崎: 日本海学会誌, 27, 100 (1973)
- 53) 古屋伸, 安田: 水曜会誌, 18, 523 (1977)
- 54) 古屋伸, 辻村: 浮選誌, 26 [4], 169 (1979)
- 55) 芝田, 河畑, 西村: 日本金属学会誌, 39 [1], 82 (1975)
- 56) 文献53) に同じ。
- 57) 文献54) に同じ。
- 58) 北村, 和田: 日本海学会誌, 32 [2], 78 (1978)
- 59) 藤井, 菅坡, 宮崎: 日本海学会誌, 27 [2], 96 (1973)
- 60) R. D. Goodenough, U. S. Patent, 2, 964, 381 (1960)

## 話の泉

### 日本の技術開発は“超後進国だ” (其の2)

…… “基礎” の米国, “応用” の日本, 両国の技術開発の違い……

イオン工学実験施設の完成記念シンポジウムに招待されて話す機会を得たことは大変うれしい。

平素, 私は自然科学と技術は違ったものだと考えている。

自然科学は自然を系統的に理解することで, 自然の法則を見つけること自身に意義がある。

技術は, 自然の理論あるいは知識を実際に応用する。

広い意味でいうと, 社会の要請に基づいて自然科学の知識を生かして技術を開発するわけです。

技術が自然科学と結びつくのは産業革命以後です。ほんとうに結びついたのは19世紀中ごろからだと思う。そのころから, 自然科学にバックアップされた技術の進展は目ざましい。もっとも, この場合の技術は工学というより“テクノロジー”と考えていただきたい。

テクノロジーには科学技術と社会との2つのインターフェースがある。自然科学との, インターフェースには基礎研究がある。反対側の社会とのインターフェースには製造技術とか, 新製品開発, あるいはマーケティングがある。

全般的にいうと, 自然科学はもともとヨーロッパで生まれた。それが19世紀中ごろ技術と密接に結びついていく。その結びつきが単なるインター

フェースでなく, 融合化されたエンジニアリング・サイエンスというか, そういうものになって, ポスト・インダストリアル・ソサエティの大きな特徴になっていきます。

アメリカの功績は自然科学との結びつきの面を非常に強固にした。例えば電子工学, 原子力, 高分子, 分子工学, そういう分野です。

一方, わが国の技術は大したものだと評価されます。その場合はどちらかというと, 社会との結びつきが非常に強い。革新的なプライマリー・イノベーションが日本であまり生まれなかった。

科学技術は日進月歩で進むというのが定性的だと思うが, 個々の分野をみると, 最初に揺籃期があって, 成長期, 爛熟期へと結ぶ。こういうカーブがあると思う。わが国はどちらかというと, 社会に密接した製造技術, あるいは2次加工, 3次加工期は成長期を終わったあとの分野に日本人が貢献する。最初の開拓のところに日本人は貢献しなかった。進歩には連続的に進歩するのと, 飛躍するというポータム・ジャンプという2つのものがある。イオン工学実験施設はそういう意味で初期の段階に貢献するので非常に重要ではないかと思う。

(K)