

海洋資源・エネルギー開発の現状と展望

Development of Ocean Resources and Energy at a Long Term

宇 都 宮 誠*

Makoto Utsunomiya

1. はじめに

地球の表面積の約7割を占める広大な海洋は、多くの資源を賦存するとともに空間としての利用可能性も計り知れず、人類に残された貴重な財産といえる。

また、四面を海に囲まれた我が国は、海洋を通じての文物の交流、食糧としての海洋生物資源の利用のみならず、文化形成に関しても海洋と密接な関係を有しており、資源の少ない狭小な国土に高密度な経済活動を営む我が国にとって、将来の社会経済活動を支える有力な基盤として、海洋の開発・利用を積極的に推進してゆくことが極めて重要である。

これまでの海洋開発の歴史を振り返ってみると、1961年の「海洋は人類に残され最後のフロンティア」というケネディ・アピールに象徴されるように、海洋開発に対して世界が強い関心を持ち出したのは、1960年代初頭である。先発国のアメリカとフランスでは、海底石油開発と海の軍事的利用が海洋開発の大きな引き金となった。

一方、我が国でも世界の動きに触発され、1960年代末以降、海洋開発に対する取組みが本格化してきた。

政府においては、「海洋科学技術審議会」を中心に海洋開発の将来方向や推進課題が検討されたし、また、民間では旧財閥系を中心に多くの海洋開発専門会社が設立された。その後、1973年秋の第1次石油ショックまでは海洋開発の成長性が見込まれて、多くの企業の新規参入がみられるとともに、行政においても、様々な海洋開発プロジェクトが提案されることとなった。

だが、このような海洋開発の進展も、第1次石油ショックを契機とする経済環境の悪化により、環境条件が著しく悪化し、海洋開発は大きな転換を余儀なくされた。

すなわち海洋開発は、膨大な資金を要し、かつ、リ

スクの大きな長期的事業であることが認識され、民間の海洋開発に対する熱意は急速に冷めていった。

このように、石油ショックは第1期海洋開発黄金時代を頓挫させたわけであるが、皮肉なことに、資源・エネルギーの有用性を人々に知らしめ、マンガン団塊や波力エネルギー等海洋の持つ資源・エネルギーの重要性を認識させることとなった。

その後、各国とも政府が主体となって、これら海洋資源・エネルギーを積極的に開発するようになり、世界の景気の回復の波にも乗ってレーガン大統領の「海洋開発元年宣言」に象徴されるように、ここ2、3年第2期海洋開発黄金時代を迎えつつあるようである。

そこで本稿では、現在話題となっているマンガン団塊や熱水鉱床等の海洋資源及び海流・波力エネルギー等の海洋エネルギーについての現状及び将来動向について、海外の最新情報も織り混ぜながら紹介することとしたい。

2. 海洋資源・エネルギーの現状と今後の動向

2.1 海洋資源

(1) 海底石油

全世界の石油究極可採量については約2兆バレルといわれており、海洋石油はこのうち約4分の1とされている。天然ガスについてもほぼ同じようで、海洋下にあると予想されるものの割合は18%とされ、1982年における生産量に占める海底石油の割合は25.2%、天然ガスは18.5%といわれている。また海洋における石油資源の分布については、海岸から200海里の大陸斜面の途中までに80~90%が賦存するといわれている。

海域における最初の石油開発は、1947年にルイジアナ沖合で開始され、その後対象海域の極地化、深部化が進み、現在の世界記録としては、試掘深度で約2000m、プラットフォームの建設水深で320mに達している。

エクソン社では、さらに水深600mの海域における石油開発を目的に、1968年からシステム設計を行い、

* 科学技術庁研究調整局海洋開発課長

〒100 東京都千代田区霞ヶ関2-2-1

1978年の実油田での実験によって600m以深への適用可能との評価を得た。

我が国においても、通産省において、民間企業16社の協力のもとに水深300m用海底石油生産システムの開発を行っており、1983年には水深50mの海域で模擬抗井を使用した海洋総合実験を行った。

海底石油生産システムは多くのサブシステムを組み合わせたものであり、坑口システムとマニホールドシステムに区分けされる。目標水深は、300～900mに置かれており、今後は、海底に大型構造物を水平に設置する技術や保守・点検のための技術開発が必要で、潜水技術の開発等を行っている。

(2) マンガン団塊

マンガン団塊の最初の発見は、1872～76年にかけて英国のチャレンジャー号が、世界一周探検を行った時と言われている。その後、マンガン団塊は世界中の海洋底に広く分布していることが知られるようになった。

しかし、発見から約80年間は、海底にマンガン団塊が広く分布していることが単に確認されたという時期であった。しかし、1950年代から基礎的研究が進められ、1960年代に入ってから、マンガン団塊が大量に賦存する海域が発見されるとともに科学的研究も進められ、その含有金属の種類、賦存量等から新しい資源として世界的に注目されるようになった。

マンガン団塊は水深4,000～6,000mの深海底に存在する、マンガンを中心成分とし、ニッケル、銅、コバルトなど多くの有用金属を含有する塊りであるが、(表1)その成因については未だ定説はない。

マンガン団塊を含む深海底とその資源は、国連海洋法条約により人類共有の財産として位置づけられており、国際機関によって開発が管理されることとなって

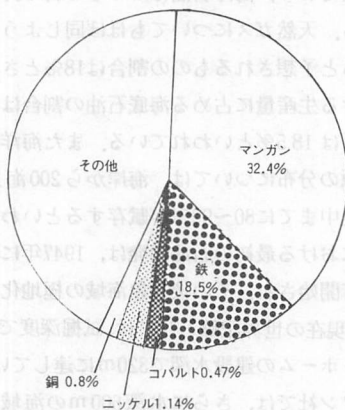


表1 マンガン団塊の平均組成

いる。ただし、既に深海底鉱物資源の開発に先行的な投資を行ってきた日本を含む数ヶ国の政府プロジェクトと日本企業も参加している4つの国際コンソーシアムについては、将来の開発に対する優先権の付与が認められている。

マンガン団塊の開発については、商業ベースの生産技術の開発を目指して、現在研究開発を進めている段階であり、商業生産に至るまでには未だ解決すべき問題が多い。

マンガン団塊の開発技術としては、探査、採鉱、製錬に大別される。

探査については、各国、各コンソーシアムとも資源開発の基本となる優良な鉱床の発見を最優先に考え、西側諸国においてはそれぞれが、お互いに調整を行って今年の夏に鉱区申請を行った。

採鉱システムは、水深5,000mの深海底という過酷な自然条件を克服せねばならず、また、目標とする生産規模も極めて大きい(1プロジェクト当たり約300万トン/年)ため、マンガン団塊の開発の中で技術的に最も問題が多いとされている。

採鉱方式については、現在では我が国を含めてコンソーシアムともほとんど総てが、流体ドレッジ方式を採用している。揚鉱方式も、ポンプリフト方式及びエアリフト方式の両方式について研究開発が進められている。

製錬については、乾式法についても研究開発が進められているが(インコグループ)、湿式法を中心に研究開発を進めているところが多い。マンガン団塊の製錬に当たり、ニッケル、銅、コバルトの3金属の回収か、マンガンを含めた4金属を回収するかについては種々検討されているが、USスチールグループのみは、当初から4金属の回収を目的に研究開発を進めている。

なお、各国、各グループとも、製錬については幅広く研究を進めており、必ずしも1方法、1プロセスに限定されたものではないと考えられる。

(3) 熱水鉱床

熱水鉱床は、1965年に米国の調査船アトランティスII号により、紅海において金属硫化物を含む「重金属泥」として発見され、その後東部太平洋海嶺上で「多金属硫化物鉱床」が相次いで発見され注目を集めている。

熱水鉱床の成因としては、海底の拡大部である海嶺系において海水が海底の割れ目から鉱物を溶かしながら浸み込み、マグマで熱せられて再び熱水となって海

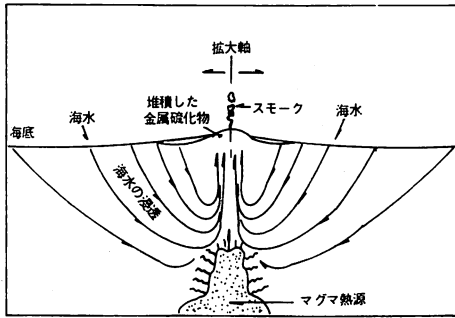


図-1 海底熱水鉱床の形成機構
出典：資源調査会報告書

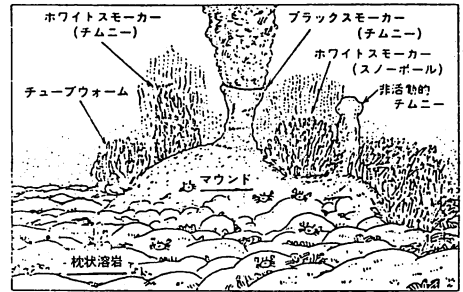


図-2 海底熱水鉱床の産状を示す概念図
出典：資源調査会報告書

水中に吹き出すことにより金属の硫化物が生じるといふ説が有力である。(図-1)また、その成分はマンガン団塊と異なり、亜鉛、銅、鉛を主成分とするもの、金、銀等の貴金属を比較的多く含んでおり、マンガン団塊が水深5,000~6,000mの海底に存在しているのに対し、2,500~3,500mと比較的浅い所に存在する。熱水鉱床の概念図を示すと、図-2のようになり、マンガン団塊との比較をまとめると表2のようになる。

熱水鉱床についての重要性の認識は、存在場所が比較的浅いことから、主に自国の経済水域内に存在すること及び回収技術がマンガン団塊より容易であること等の理由で、米国を中心に近年急速に高まっており、我が国においても、資源調査会等が探査活動の早期実施を強く勧告している。このような動きを反映して、近々、マンガン団塊探査専用船「第2白嶺丸」が探査を開始することとなっている。

(4) ウラン、リチウム等の海水溶存資源

海水中に含まれているウラン、リチウム等の海水溶存資源の含有率及び総推定量をまとめると表3のようになり、特に、原子発電の燃料となるウラニウムは約40億トン溶存していると推定されている。

陸上のウラン資源は、現在1,000万トンにも満たないため、核燃料の安定供給、さらには、ウラン資源の国際的寡占体制に対するバーゲニングパワーを形成するため、海水中のウラン等の希少資源回収システム技術を開発している。

技術開発の手法としては、各大学や工業技術院四国工業技術試験所を中心に吸着材により希少資源を収集し、効率的に抽出する方法について研究を行い、ウランに関しては、既に高性能なチタン酸吸着剤の開発を行っている。このような成果を踏まえ、現在、香川県仁尾町に年間生産10kgウラン規模の実証研究用モデ

表2 マンガン団塊と海底熱水鉱床の比較

項目	マンガン団塊	海底熱水鉱床
地形	比較的なだらか(大洋盆)	起伏はげしい、断層地形、チムニー、マウンド、ごつごつしている(拡大軸、火山)。
生物	—	熱水性生物群集
関連要素	堆積物、堆積柄の発達状況	同左、ヒートフロー、重力異常、磁気異常(強度)、地殻構造、年間拡大速度4cm以上、熱水ブルーム(粒子状マンガン、ヘリウム、メタン)
サンプリング	フリーフォールグラブ、ピストンコア、ボックスコア	同左、ドレッジ、ロックコア
水深	5,000m	2,500~3,500m
成因	水成	熱水成

表3 海水中の微量成分

希少資源名	海水中の含有率(PPM)	海水中の推定全量(億トン)
ストロンチウム (Sr)	8.0	109,600
リチウム (Li)	0.17	2,330
リン (P)	0.07	960
バリウム (Ba)	0.03	410
インジウム (In)	0.02	270
モリブデン (Mo)	0.01	140
ウラン (U)	0.003	40
バナジウム (V)	0.002	30
チタン (Ti)	0.001	10

ルプラントを建設中である。また、リチウムに関しても、水酸化アルミニウム吸着法、アンチモン-スズ吸着法等が研究されている。

2.2 海洋エネルギー

(1) 海流・潮汐エネルギー

海流・潮汐エネルギーは、第一次石油ショック以降、石油エネルギーに代わり枯渇しないエネルギー源として、その開発利用が真剣に考えられるようになった。

海流エネルギーは、自国付近に黒潮やフロリダ海流等の大海流を有する日本及び米国で研究が進んでおり、

特に米国においては、コリオリ計画がエネルギー省（DOE）のプロジェクトとしてスタートした。これは、外径171m、長さ110mの外縁ケースの中にいくつかの発電機を入れ、83,000kWの出力を得ようとする計画である。また、日本においては、資源調査会内に、海・潮流エネルギー研究会が設置され、現在調査研究を行っている。

潮汐エネルギーとは、湾の入口や陸地と島の間など、流れの断面積が狭められている場所で潮の干満などによって起こる潮流のエネルギーで、フランス、中国、カナダ等で検討されている。

潮汐発電開発に最初に着手したのはフランスで、1967年にランス潮汐発電所を建設した。その後、中国が江省の江夏川河口に500kWの機械を据付けて運転を行ったり、カナダがナバコスシア州のポートロイヤル河口で実験発電を行っているが、発電コストが経済的に引き合わないため、商用としての大規模潮汐発電所はランス発電所以降建設されていない。

(2) 海洋温度差発電

海洋温度差発電は、1881年にフランスのダルソンバールが提案し、その後同じくフランスのクロードが1926年以来様々な開発を行い、貨物船を改造して実際の海で実験を行ったが良い結果は得られなかった。

その後1964年に米国のアンダーソンが、作動流体としてプロパンを使用する半潜水型の海洋温度差発電所構想を発表し、電力コストが1円程度となり、他のエネルギーに比して有利であると述べて以来、米国、日本、フランス等において再び研究が始まった。

米国は、1979年にハワイ州政府等がハワイ沖合ケアホールでバージ型海洋温度差発電所（Ocean Thermal Energy Conversion, 略称OTEC）の発電出力50kWについて実験を行ったのに続いて、正味出力4万kWのプラントを建設するプログラムを進めている。その間1980年にはOTEC研究開発法を制定し、今世紀末までに1,000万kWのOTEC商用発電所を米本土、メキシコ湾岸諸州沖合に建設するとしている。

我が国においては、通産省がサンシャイン計画の中でフィージビリティスタディを行っているほか、民間グループによる陸上型テストプラントの実験や調査研究等が実施されている。

サンシャイン計画では、出力数万～10万kW程度の大規模プラントを目指して、現在詳細計画を行っているところであり、昭和61年度頃から実プラント建設に向けての具体的検討に着手する予定となっている。

特に海洋温度差発電トータルシステムの研究は、工業技術院電子技術総合研究所を中心として行われている。また要素技術開発としては、熱交換器の作動流体側の高性能化や海水中の腐食、生物付着に対する研究等が実施されている。

一方民間グループでは、東京電力・東電設計グループのナウル100kW実験プラントの実験、九州電力グループによる徳之島におけるディーゼル排熱と深層水との温度差による50kW低温度差発電の実験等が行われた。

OTECの生みの親であるフランスは、旧植民地タヒチ島に正味出力5千kWを建設すべく1983年から研究を開始し、85年までに要素開発を行い、88年に運転を始める計画である。本プロジェクトの建設費用は90億円程度で、180～200万円/kW、発電単価は70円/kWhと言われている。

今後の技術開発課題としては、第1に熱交換器の性能向上があげられる。海洋温度差発電においては、利用できる温度差が小さいため熱交換器は大型となり、建設コストの大きな部分を占めるため、発電コストの低下という観点からその性能向上に努めている。

次に深海における大型構造物の係留技術開発がある。海洋温度差発電においては、水深600m以上の深層水を吸い上げて冷熱源として利用する必要があるため、係留水深は700m程度以上が予想され、そのための技術開発が必要である。

最近、電力中央研究所において、イスラエルで発電に成功したソーラボンドと海洋温度差発電の組み合わせ方式の検討を行い、海洋温度差単独方式より発電コストが大幅に低下するなどの結果が得られている。

(3) 波力エネルギー

波力エネルギーについては、従来から航路標識用の波力発電ブイ等が開発されたが、日本を含め世界的に波力発電の開発が考えられるようになったのは、石油ショック以後である。また、英国エディンバラ大学のソルター教授が、波エネルギーの吸収率が良いソルターダックを考案し、波力発電開発のフィージビリティを証明したことも大きな引き金となっている。

波の持つエネルギーは思ったより大きく、波高Hm、周期T秒の波の持つエネルギーは次の式により表わされる。

$$P = 0.5 H^2 T \text{ kW/m}$$

今、H = 3 m、T = 8 秒とすれば、36kW/mとなり、1 kmの海岸では3.6万kWのエネルギーとなる。

我が国においては、昭和51年より科学技術庁の海洋科学技術センターが中心に開発を行っており、波力発電船「海明」(長さ80m,幅12m)を建造し、53年8月より55年8月に亘って実験を行った。発電出力は、平均発電出力としては、波高5mで240kW程度であり、今後の発電出力向上の余地は大きい。

この実験は、国際エネルギー機関(IEA)の波力プロジェクト(参加国、英、米、加、アイルランド)として、国際協同研究のもとに行われた。

また、新技術開発事業団が、沿岸固定式波力発電プラントを建設し、昭和58年から59年にかけて発電実験を行っている。

今後の技術開発動向としては、空気の流れの方向を弁で制御する従来の方式から進んで、無弁式の空気タービンの完成が望まれている。更に、変動する波エネルギーから平滑化した電力を取出すための平滑化方法の開発が必要となって来よう。

3. むすび

以上みてきたように、海洋の資源・エネルギーについては、石油・天然ガス以外は未だ開発の緒についたばかりであり、海洋の持つ困難性(10m潜る毎に1気圧増加する高圧力、電波の不透過性)を克服しつつある段階にある。

このような状況の下で、資源・エネルギーが実用化されるのは、1990年あるいは21世紀に入ってからと思われるが、政府としてはこれら海洋資源・エネルギーの基礎研究を推進するとともに、海洋リモートセンシングや深海潜水調査船技術のような共通的な技術開発にも力を入れているところである。

また、現在のような財政状況下においては、我が国一国だけで全ての課題を解決することは不可能であり、技術的ポテンシャルを有する欧米先進国と積極的に共同開発を行うことも非常に有用であると考えられるので、今後積極的に推進してゆきたいと考えている。

シンポジウム案内

有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム 開催ごあんない

来る1月29日(火)、30日(水)農協ビル国際会議室(東京)にて下記の通りコンポストに関するシンポジウムが開催されます。参加申込は下記ご参照下さい。

1. 主催：下水汚泥資源利用協議会
会長 岡山市長 松本 一
2. 協賛：文部省環境科学特別研究総合班
代表 東京大学生産技術研究所 増子 昇
有機資源リサイクル研究会
3. 期 日：昭和60年1月29日(火)、30日(水)
2日間 9:30~17:00
4. 場 所：農協ビル・国際会議室(8F)
東京都千代田区大手町1-8-3
電話 (03)245-7467
5. 申込(問合せ)先：下水汚泥資源利用協議会
〒102 東京都千代田区紀尾井町3-6
秀和紀尾井町パークビル(社)日本下水

道協会内 電話(03)263-4695
263-4691

〈シンポジウム参加申込要領〉

- (1) 参加対象：特に制限はありません。
- (2) 参加費等：参加費：無料、資料(講演集)代：1冊 3,000円
※発表者の方は必ず資料代をお支払い下さい。
※資料代は当日会場受付にてお支払い頂きます。
- (3) 申込方法：昭和60年1月21日(月)までに本協議会宛申し込むこと。