

海洋開発

本 間 仁

I 海洋開発

I-1 海洋に関する科学

太古の時代には人類にとって大小の河口附近の土地は多くの場合、最も住みやすい場所であった。それは主として海や陸からの食料が得易いという理由からであったが、文化が進み、遠距離との交通が開けると、海は最も重要な交通路となった。2000年前の南ヨーロッパ、北アフリカおよび近東の民族にとって、地中海を往来する船が如何に重要な交通機関であったかは歴史の教える所である。

アメリカ大陸発見後は全世界の海に交通路が開かれるようになり、近世の大規模な貿易の基礎ができたといえる。航空機の発達後は遠距離交通路としての船舶の地位は低下したが、海上を輸送される物資の量は産業の増大と共に加率的に増すばかりであって、その意味で海上交通の重要性は少しも減少していない。その他にも漁業や軍事上から見た海洋の重要性は古くから今日まで変ることがないのである。

このようにして海洋に関する調査、研究は地球科学の面からと共に、交通、軍事、漁業の面から行なわれて来た。一般に海洋学と言え、海洋物理学、海洋化学、海洋地質学、海洋生物学が含まれている。海洋物理学は潮汐、海流、波浪、津波などの海水運動を主として取扱うものであり、海洋化学は海水に関する化学、海洋地質学は主として海底の地形、地質を取扱う。海洋生物学はプランクトンから魚類に至る関するもので、水産学と深い関連を持っている。日本ではこれら海洋学の各分野に多くの研究者がいて、活発な研究活動が行なわれている。それにも拘らず今後新しい海洋開発の新しいプロジェクトを実行しようとするれば、海洋に関する調査研究を更に飛躍的に強化せねばならないのであって、このことが世界の各国で海洋開発を国家的な仕事としてとり上げようとしている原因であるといってもよい。又そのように海洋は調査研究の対象として大きく、かつ困難なものである。

海洋は地球表面の約70%を占め、陸地との境界が海岸線である。しかし地球表面は大きく分けられ大陸塊と深海底から成っており、深海底の上は海水で満たされている。この海水は深海底の上

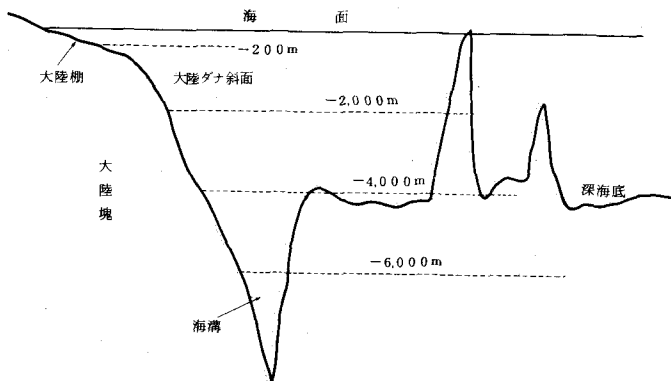


図-1 港湾局観測指定港

だけでなく、大陸塊の周辺の部分までを覆っている。これが大陸棚と呼ばれる部分であって、この部分での水深は大体200m以下である。日本列島の周辺の大陸棚は広くないけれども、今後の海洋開発にとって、さしあたり最も重要な場所である。海洋学の中にも大陸棚のような沿岸海域を対象とする沿岸海洋学があって、特にこのような海域

の研究が行なわれており、更に海岸附近での工学的諸問題の解決のために海岸工学がある。しかし実際に水深50m～100mの海中に構造物を作るとなると、後に述べるように更に解明しなければならない多くの問題がある。

I-2 海洋の資源

将来の世界の人口増加と、陸上の食料増産の可能性の関係については、現状では暗い見通しであって、海洋における生物資源は海洋開発の重要な課題である。この課題の中には海洋中の未利用生物資源の利用、海中牧場などによる増殖、養殖の問題が含まれる。

海底の鉱物資源の開発、特に大陸棚における石油および天然ガスの開発は、目下の所、海洋開発の最大事業となっていると言えるであろう。産業の急激な伸長と共に、石油、天然ガスの需要は加速度的に増大しており、これらの資源開発の要求は当分続くものと見られている。海岸に近く、水深の極く浅い場所での石油採掘は、陸上採油の延長として既に1930年頃からメキシコ湾地方などで行なわれていた。しかし水深50'以上の場所での採油が行なわれるようになったのは1950年以後のことであり、更にメキシコ湾、ベルシャ湾などで水深の大きい海底での油田が発見されてから、海底石油の開発が盛んに行なわれるようになった。今後の海洋開発においては水深100mから200mという大深度の油田、ガス田を開発しようとするのであって、そのためにはこのような海底に設置して、海上からの遠隔操作によって作業のできる装置の開発が先ず必要とされている。

海底の鉱物資源としては、この他にダイヤモンド、チタン、錫、砂鉄などの探査や採取が試みられている。深海底に堆積しているマンガン団塊は遠くない将来に開発の対象となるであろう。その他、海水中に溶解している物質の中にも資源として考えられるものが少ない。

海水そのものの資源的価値としては、先ず淡水化の問題が挙げられる。現在でも特定の場所では海水の淡水化が実用化されているが、まだ淡水の生産価格から言えば一般には高価である。淡水化技術には幾つかの種類があるが、実用化に進んでいるのはフラッシュ法とイオン交換樹脂法であって、その中でもフラッシュ法が有利と見られている。これは海水を加熱して低圧蒸溜を繰り返す方法であって、火力発電と組み合わせてその放出熱を利用すると共に、海水中の溶存物質を副産物として取り出すことによって実用性を高め得るものと考えられている。

海洋中のエネルギー利用の中で最大のものはやはり潮力発電である。潮汐は月と太陽の引力によって起される長周期波で、その波高は大洋中では大きいものではない。しかしこの長周期波が沿岸部を進行する間に海底地形の影響を受けて、局部的に大きな波高になる。英仏海峡西側、北米ニューファウンドランド地方、アラスカ南岸、北極海の一部などには最大潮差が10mを超える所があり、このような場所では有利な潮力発電が可能であって、既にフランスのランス河口では既に最大出力

24万KWの発電所が完成しており、ソ連でも白海にモデル発電所を建設したと言われる。

潮力発電所は一般には周期的な、断続的な電力を発生するから、ある程度に規模を大きくして揚水発電所の機能を持たせなければ実用性がない。日本の沿岸のように潮差のあまり大きくない所では尚研究

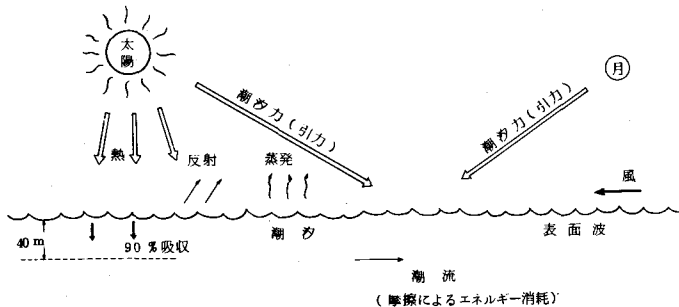


図-2 現用波高計機種別数量比較

の余地が多い。

波力の利用については、浮き灯標の予備電源に使用する目的のものが既に実用化されている。しかし波のエネルギーは暴風時や大きなうねりの時に集中的に来襲するが、平常時は極めて小さいために、捕捉することも、有効に利用することも困難である。

その他に海水そのものを発電所や大工場の冷却水として使用することは、既に大規模に行なわれている。これは将来も続くであろうが、問題点は沿岸海域の海水温度上昇であると考えられている。

I-3 海洋への生活圏の拡大

日本では工業的生産活動が主として沿岸地方に集中している。特に石油化学、製鉄などの工業は原料を大量に海外から輸入するために、海岸に広大な敷地を持ち、専用の埠頭を作って、原料の積み下し、生産の過程、製品の積み出しまでを一箇所で行なうことにより、生産性の向上を計っている。しかし交通の便がよく、工業用水の補給を確保できるような地方では到底広い敷地を得ることはできないので、海岸の埋立てによって敷地を造成することが盛んに行なわれて来た。東京湾、伊勢湾、大阪湾などの沿岸はその好例である。このような生産活動の場の海への進出は、農業部門では干拓事業として古くから行なわれて来た。最近でも八郎潟干拓、有明干拓を初めとしてかなりの面積に及んでいる。

このような埋立や干拓を技術的に、また経済的に有利に行ない得る場所は少なくなって、今後は技術的に困難な所に進まねばならないから、施工上や防災面から将来は色々な問題が起るものと考えられる。又沿岸工業地帯は大気汚染、海水汚染などの公害問題を伴うので、生活圏の海への進出には地域計画的な考慮を先行させるようにして行かねばならない。

リクリエーションの面から見た海岸および海洋の利用は海洋開発に関連した大きな課題となるであろう。日本では国立公園、国定公園などに指定されている自然公園の数は極めて多く、全海岸線の約3分の1は自然公園区域に入っている。しかし今後は単に自然保護だけでなく、海水浴場やヨットハーバー等の開発を行なって行くことが課題である。

その他にも海上都市のように、かなり人工的に海上に生活の場を作って行くもの、海底タンク、海底倉庫のように海底を利用する計画もある。これらについては具体的にアイデアを積み重ねて、実現の可能性を高めて行くことが必要であろう。海上空港は現在陸上に土地を求め難くなっていることから、各国とも検討を行っており、やがて実現されるもとと考えられる。

以上のような色々な目的での海洋スペースの利用開発に関連した問題点については後章で述べることとする。

I-4 海洋開発に関する世界の動向と国際協力

1960年、フランス大統領ドゴールが国会で海洋開発の必要性を演説し、海洋開発委員会を設置して大陸的な開発計画（プレコンチナン計画）の推進を初めてから10年間に、世界の各国で海洋開発のための体制が整えられた。

米国では1961年、ケネディ大統領が海洋調査の強化を指令し、1966年には海洋資源開発委員会が設けられて、海洋開発のための調査の調整を行なうようになった。又深海潜水システムの研究計画（シーラプ計画）は海軍の手で進められ、世界で最大の規模で研究が進められている。宇宙開発の実績を持つ米国は民間会社に深海調査船などの勝れた調査設備があり、これらが大学研究所、海軍と並んで調査研究に従事している。フランスでは1962年に海洋開発委員会を恒久的な研究調整機関の海洋審議会に改め、同時に国立海洋開発センターを設置して、深海調査、海底居住などの面で独自の研究開発を行なっている。その他、ソ連、英国、西ドイツなどもそれぞれの立場で海洋

調査を行なっている。

しかし広大な海洋を組織的に調査研究することは世界的な規模で行なっても尚困難な仕事である。そのために色々な形で国際協力が行なわれている。海洋学の分野で現在世界的な規模で活動しているのは国連機関であるユネスコの中に設けられた政府間海洋委員会（IOC）であろう。国際学術連合（ICSU）の中の海洋科学研究委員会（SCOR）も現在ではIOCの諮問委員会的な仕事をしているようである。又IOCにしても、SCORにしても共に科学的分野に偏っているので、海洋工学的な立場から海洋技術研究委員会（ECOR）の設立が米国の海洋工学者を中心として提唱されている。更にユネスコの一つの事業として海洋開発10年計画が米国の提唱によって昨年度から初められている。

海洋に関する国際共同調査で日本が参加したものには次のようなものがある。

- (a) 北太平洋共同調査（米国、カナダ、日本の協力）
- (b) 国際インド洋調査（SCOR主催）
- (c) 黒潮共同調査（IOC主催）

Ⅰ-5 日本の海洋開発計画

わが国では昭和36年に総理府に海洋科学技術審議会が設置され、以後審議会では立ち遅れ気味の日本の海洋科学技術の推進を計るための答申を行なってきた。昭和44年には今後10年間の海洋開発の方向を展望して、当面5か年程度の間推進すべき開発課題についての答申書がまとめられた。この中では政府が主導的な役割を果しつつ、各方面の力を集めて行なうべき課題として次の5種のプロジェクトを選んだ。

- (a) 日本周辺大陸棚海底の総合的基礎調査
- (b) 海洋環境の調査研究および海洋情報の管理
- (c) 海中栽培実験漁場による栽培漁業技術の開発
- (d) 大深度遠隔操作掘さく装置等に関する技術開発
- (e) 海洋開発に必要な先行的、共通的技术の研究開発

以上のプロジェクトに基づいて政府では関係各省の間の協議によって、実行計画が立てられている。この中にも共通的技术開発がとり上げられているが、海洋開発は元来広範囲にわたるものであり、上記のようなプロジェクトの推進によって得られる技術の開発が、その後の各方面での開発に役立つことが期待されるのである。

Ⅱ 海洋工学

Ⅱ-1 海洋工学と開発技術

海洋学の立場で行なわれる海洋の調査研究から一歩進んで、海洋資源の開発を始めとする海洋開発の段階に入ると、各種の工学的な問題が起って来る。海洋工学の定義はまだはっきりしたものではないけれども、特に海洋の利用、開発の目的を持った技術およびそれに関する工学と考えてよいであろう。

例えば先ず海洋調査にしても、100 m程度より深くなれば暗黒の世界であるから照明の問題があり、普通の電波は海水による吸収が大きいから、他の通信方法を考えねばならない。又、深海に入るためには特殊潜水船が必要である。海水中での通信、測深などの目的で現在多く用いられているのは超音波で、指向性のよいこと、減衰の少いことのためにSONARなどの探知機に使われている。しかし音波は速度が水中でも約1500 m/秒に過ぎず、波や海中生物の影響も受け易いので、

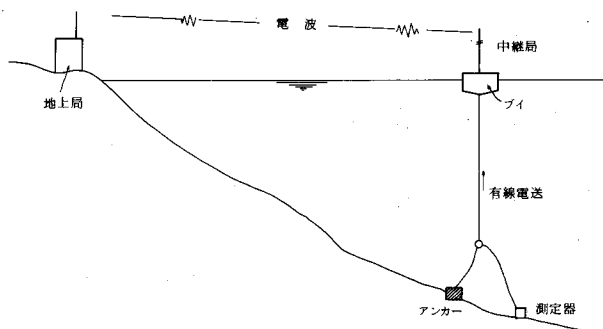


図-3 撓動抵抗型水圧式波高計原理

光線の中で比較的減衰の少い青と緑の波長のレーザー光線の利用が研究されている。

情報伝達システムは海上気象、海況、海中の測定値、魚況などの情報を定期的に陸上に伝えるもので、その目的を持ったブイロボットシステムの開発が行なわれている。水中作業のためには、ラム等の海底作業機械、マニピュレーターなど機器の研究が行なわれる他に、人間が海底で長時間作業に従事する目的で海底居

住の研究が進められている。

海中又は海上で各種の作業をする場合に、作業の安全性は重大な問題である。そのためには作業船などの構造上の安全性の他に、気象状況、海況の正確な予報が必要であって、情報網の強化、予報技術の現在以上の進歩が要求される。

以上のような色々な問題の他にも、海中で使用される材料の科学、開発に関連する海水汚染問題など、海洋工学の分野は極めて広い。

Ⅱ-2 海洋調査

海洋の大部分を占めるのは水深 2000 m 以上の深海であって、現在この海域で開発の対象となっているのは漁業および気象海象情報蒐集であり、海底のマンガン団塊採取もやがて取り上げられるであろう。日本の白鳳丸、開洋丸を含めて世界の数十隻の大型調査船がこの海域で活動している。しかし深海底となるとまだ探險の域を出ていない。強大な水圧の世界である深海底まで入り得る潜水調査船は数少く、日本の「しんかい」号も安全潜水深度は 600 m に過ぎない。4,000 m 以上の潜水の可能なものは潜水船では GE 社製のアルミノート号、バチスカーフではフランスのアルキメデス号、米海軍のトリエステ I, II, III 号である。バチスカーフは自航能力がなく、容量も極めて小さいが、10,000 m まで潜水した記録があり、深海底の調査には欠くことができない。

大陸だなは今後の海洋開発にとって最も重要な場所であり、日本の開発計画でも、先ず海底の地形地質に関する基本図作製が挙げられている。このような基本図を作製することは大きな事業であるけれども、これが出来たとしても、更に構造物を作る場合に必要な精度の地図が得られるまでにはまだ容易でない道のりがある。その上に海底の土質調査などの問題もあって、大陸だなに構造物を作る場合には、水深が大きくなると調査の段階から大きな困難がある。

Ⅱ-3 海洋スペースの利用開発技術

海洋への生活圏の拡大のために海洋スペースの利用開発の技術が必要であり、いわゆる海洋土木技術は主としてこれに関係したものである。現在でも日本では沿岸のスペースは最も高度に利用されており、臨海工業地帯における埋立地造成は殆ど限界に近くまで来ている。更に津浪、高潮、波浪などによる災害の防止のための海岸保全工事は海岸利用が進むと共に重要さを加えて来る。

今後海洋開発の一環として海洋スペースの利用開発を一段と推進しようとする場合の問題点を整理して見ると次のようになるであろう。

(a) 沿岸利用に関する地域計画の確立

沿岸地域は住居、工業、漁業、リクリエーションなどの目的に利用されるのであるから、予めそれらの配置計画を立て、海水汚染などの公害問題についても対策を用意する必要がある。

(b) 海洋に進出する可能性の考えられる事業

現在の海岸から離れて、ある程度の水深の海上又は海中に進出する可能性が考えられるのは次のようなものであろう。

(i) 交通基地 シーバース等の小規模なものから、ある程度の規模の港湾、空港などが考えられる。

(ii) リクリエーション基地 ヨットハーバーを初め、海洋リクリエーションの基地

(iii) 特殊工場

(iv) 海中倉庫、タンク

(c) 形態上の分類

技術的および防災的な面から見て埋立地を造成できる水深には限界がある。これは外海と内湾で違っても、大体30m前後が限界であろう。それより深くなるとシーバースのような栈橋構造、又は塔上構造物の集合となり、更に水深が大きくなれば大型ブイ又はポンツーン構造になるであろう。

(d) 防災面からの考慮

海洋のスペース利用の場合には、その特殊環境を考えて、防災的な考慮が特に必要である。波浪、津波、高潮の対策の他に、気象的な風、霧、空気中の塩分なども重要である。

Ⅱ-4 海水汚染

沿岸地域のスペース開発に関連した海水汚染問題には2種類が考えられる。その第一はリクリエーションのための利用の場合のように、利用のために現在ある汚染または将来起り得る汚染を取り除かねばならないものであり、第二は臨海工業地帯や海上都市の場合のように開発に伴う公害として汚染の発生するものである。そのいずれの場合にせよ、海水汚染の対策は個々の場合についての技術的な対策だけでなく、開発全体の地域計画的な配慮がなければならない。

海水汚染の原因には大きく分けて次の4種がある。

(a) 都市排水

(b) 工業排水

(c) 船舶廃油

(d) 放射性廃棄物

これらの中で(a)および(b)については、下水処理施設の充実による以外には有効な対策はない。しかし日本では大都市附近の水質汚染は極度に進んでおり、この水質をある程度まで回復することは容易ではない。船舶廃油又はオイルタンカー事故で流出する油による汚染は海洋に特有のものであり、その処理も困難である。港湾区域では法律によって廃油投棄の禁止措置がなされている他、いくつかの港では廃油処理施設ができています。核燃料製造工場などから出る放射性廃棄物には、高レベルの固体廃棄物と低レベルの液体廃棄物があり、固体廃棄物は容器に入れて永久貯蔵または深海底への投棄が考えられている。液体廃棄物は許容限度以下に希釈して海洋に放流される。液体廃棄物の海中投棄に関しては、安全な希釈、生物への凝縮、モニターの方法など、色々な面から研究が行なわれている。

Ⅱ-5 海洋土木工学の問題点

海洋構造物の設計にあたっては、外力としての設計波浪をきめることが最初の問題である。外洋

での波浪の正確な観測値は殆どないといってよいのであるから、十分な精度で設計波浪をきめることは至難のことである。水深の小さい場所では予想される最大の沖波波高を推定して、海底の影響による波高の変化を計算するのであるが、その場合は海岸近くの観測値との対応ができる。水深の非常に大きい場所については、一つの考え方としては深海波の砕波限界の波高を起り得る最大波高として採用することであるが、これは m 単位で約 $0.17 L_0$ (L_0 は 沖波波長) であって、 $150 m$ の波長の波では $25.5m$ となり、これはかなり大きい。しかし起り得ない波高ではないので、海洋構造物の設計においては強度の点だけでなく、機能上や保安上からどの程度の水没を許し得るかなどが考慮されるべき条件になるであろう。

次は海面上および海中での位置決定の問題である。これは海洋における測量技術の困難さと共に、定点設置の困難さの問題がある。現在測深などに対しては音波を利用するソナー (SONAR) が用いられているが、構造物建設の場合にはあまり大きくない範囲で精密な測量が必要になるので、水中カメラの改良などが試みられている。

海中の構造物自体として最も問題となるのは基礎工事と材料であろう。ニューマテイクケーソンのような圧気工法が利用できるのは海面下 $30 \sim 35 m$ の深さまでとされており、それ以上の水深の場所では陸上で製作した構造物を曳船して据付ける方法が多くなるであろう。その場合には遠隔操作による作業機械で基礎の地ならし等の工事をする必要がある。又、このような仕事では施工の安全性の確保が重要な問題となるであろう。

更に海上都市や海上空港などについては施工面だけでなく、完成後の気象上や防災上の諸問題、陸上との配線、配管、交通路の確保など、考慮しておくべき問題が多く、ポンツーン型の構造では特にアンカーの問題が研究課題であろう。