

海洋空間利用と海洋学

酒 匂 敏 次

1. 海洋空間の利用

「The marriage of ocean science and ocean use has been a fairly recent development. Only in the last few years have the maritime nations fully recognized the potential value of ocean resources and the need for providing an adequate foundation of scientific understanding. This recognition comes at a time of growing aspiration for a better life and when the needs of an expanding world population for new sources of food, raw material, and fuel are becoming critical.

During the past decade, marine science has been pursued with the principal goal of gaining fundamental understanding of ocean processes. Although this goal will never be fully achieved, important progress has been made. We consider it appropriate that in the coming decade emphasis be given to the goals of prediction and of enhanced and rational utilization. In subsequent years, accumulated knowledge should ultimately lead to the enlightened and responsible stewardship of our ocean heritage.

— OCEANIC QUEST¹⁾より —

これは1970年代を国際海洋開発年代として、多面的、且つ多国間協力による海洋探究の時代にしようということで10ヶ年計画を策定したときに、アメリカの科学アカデミーおよび工学アカデミーが、その研究計画を評価した報告書「OCEANIC QUEST」のプロローグからの抜粋である。15年を経た今日になっても、海洋開発、海洋研究の目標と意義を適確に、かつ格調高い言葉で表現しているという点で、この一文をしのぐものはないように思われる。この計画の実行を通じて人類の海洋に関する知識、技術、哲学は飛躍的な前進を遂げたにも拘らず、このプロローグは、そのままこれから策定する計画の序論に使えるのだということは、海洋という対象が如何に巨大で、またその探究、開発の事業が、いかに初歩的段階にあるかということを物語っているとも考えることができるのではなからうか。

ところで、海洋開発とならんで海洋の空間利用という表現が使われるようになったのは比較的最近のことである。現在日本における海洋開発推進の基本文書になっている「長期的展望にたつ海洋開発の基本的構想について」²⁾のなかには「海洋空間」と「海域総合利用」という項目がみられる。前者においては、海洋の開発には生物資源、海底資源などのように海洋に賦存する「物」の利用を目的とす

る活動に加えて、海洋空間そのものを、生産、生活、輸送等の目的で利用する活動が含まれていると述べ、また後者においては、このような空間利用および資源開発利用が同一海域で行われることを考慮して海域を総合的・計画的に開発利用する必要があるとしてその具体策を述べている。

その後いわゆる200海里水域時代とよばれる新しい海洋秩序³⁾を柱とした海洋法についての国際合意が成立したこともあり、また「地方の時代」といわれるように、日本の各地で、地域の資源、伝統を生かした国づくり、町づくりが研究されるなかで、いわゆる地先水面である海の利用に関心が高まってきたこともあって、日本列島をとりまく海を新しい国土空間、国土のフロンティア⁴⁾として、その開発、利用、保全を構想する動きが活発になってきている。

海洋空間の利用と総称されているものの内容はこのようなわけできわめて複雑であり、単に陸に接する海洋を国土の延長空間としてとらえて、その保全、利用を企画するものから、海域そのものの多目的利用とその管理をめざすものまで多種多様である。これに関連する研究プロジェクトとしては環境や動態に関する基礎的なもの、⁵⁾⁶⁾ 太水深構造物に関するもの、海域の制御に関するもの、⁷⁾ さらに海洋空間の有効利用、⁸⁾ 高度利用⁹⁾ 等をテーマにしたものが加って、海洋空間の利用に関する科学的、技術的基盤づくりがようやく進行を開始した状況にある。

土木工学との関連では、もう少し具体的なプロジェクトとしては、海上空港や渡海橋の建設等も広い意味における海洋空間の利用に入るであろうし、その他、沖合人工島¹⁰⁾、沿岸域計画^{11),12)} 海上備蓄施設の建設、あるいはまた大小様々の海洋性レクリエーション基地¹³⁾・施設等の建設を数えることができる。

以上のごとく、一般に海洋空間の利用といわれているもののなかみは多岐にわたっており、特に新しい技術の開発を必要としないものも含まれている。しかし本稿では、特に今後の科学・技術探究の進展に依存する度合の大きい沖合海域の利用という観点から、特に土木技術、就中水工学を専攻する技術者にとって関心の大きい沿岸海域の海洋学に関連した問題について若干の議論を試みることにしたい。

2. 沿岸域・大陸棚海域

海洋空間利用のための技術開発が対象とする海域は、当面いわゆる浅海域、そのうち港湾土木の技術が対象とするのは50メートル水深、あるいは100メートル水深あたりを限度と考えているようである。いわゆる大水深という言葉が用いられるのは在来型の防波堤等の建設を想定して、この程度の水深が、技術的にも、またコストから考えても限界であろうという意味もあるであろう。日本列島の周辺に限って考えても、この水深での技術が確立すれば、利用できる水域の大きさは、現在の20メートル以浅水域の2.5倍を越える(表-1、¹⁴⁾ 表-2³⁰⁾)。大陸棚外縁の水深は平均的には140メートル程度であるが、外縁の大洋側に存在する大陸斜面の海底傾斜はきわめて大きいのが普通であるから、200メートルの等深線は大陸棚海域の大略の範囲を示しているものと考えてよい。日本列島周辺については、このような範囲に入る海域の広さは列島全体の面積を上まわっており、その存在が西南海域に偏っているとはいっても、その有効利用は国土資源の飛躍的増大をもたらすものと大いに期待される。

表－１ 日本の２００カイリ経済水域の水深別構成

0～200m	200～500m	500～1,000m	1,000～6,000m	6000m
44km ²	15	23	347	22

表－２ 沿岸海域の水深別面積

0～20m	20～50m	50～100m
29,738km ²	50,265	82,107

沿岸域については第三次全国総合開発計画のなかで、「海岸線をはさむ陸域と海域を沿岸域として一体的にとらえ、多面的な利用が可能な空間としての特色を十分に生かしつつ、沿岸域の自然的特性、地域的特性、生態環境に応じて、保全と利用を一体的に行う必要がある」と指摘されて以来、様々な角度から、沿岸域の範囲、その特性の計画指標への組み入れ等についての検討が行われてきた^{15),16)}。海洋に限定されない概念ではあるが、日本においては特にこれが海域の空間利用との関連で検討されてきている。海岸線とその隣接域を貴重な資源として保全しながら、新しい利用を沖合に展開することによって、沿岸域全体として、より高度な国土経営をめざそうという考え方で、沖合人工島などの構想にもこのような思想が反映している。

大陸棚海域の空間利用を実現するためには、海域の自然条件に関する情報の整備¹⁷⁾、大水深構造物の建設・管理技術の開発、海域流動の予測・制御の技術の確立が前提になる。特に海域の総合的計画的利用という観点からは、広い海域をカバーする面情報、立体空間についての情報、時系列情報などが必要とされることから、遠隔探査を含む新しい海洋観測の手法が現在開発されつつあり、土木技術者としても、これらの利用可能性について常時検討を続けておく必要がある。

沖合海域についての定義は特に現在確立されているとはいえないが、砕波域の沖側から大陸斜面海域までを視野に入れる（NSFのワークショップでは便宜的に海洋での工学をCoastal engineering, Offshore engineering, Ocean engineeringの3者より成るとしている¹⁸⁾）とすると、この海域における海洋現象には、海岸に隣接する水域ではあまり顕著にはみられない（相対的な意味で）事象が含まれてくる。通常の風波やうねりに加えてコリオリ力や大陸棚地形の影響を受ける長周期の波¹⁹⁾、あるいは流れ、海洋の成層構造や鉛直流動など水深が大きくなることによって相対的に重要になってくる海象等がこれに含まれる。このうちどれが海洋空間の利用技術に大きく関わってくるのか現時点でははっきりとは特定できないが、このうちのいくつかをとりあげて以下に略述してみることとしたい。

3. 流動の時空間構造

図-1に示したのはアメリカ西海岸オレゴン州ニューポート沖合50キロの水域に設置したブイ・ステーションで取得した長期の海洋流動連続記録の一部を解析した結果得られた流動のエネルギー・スペクトルの一例である²⁰⁾。この水域の水深は1000メートルであるから大陸棚外縁のすぐ沖合にあたるが、この記録は海面下40メートルに設置された流速計からのもので、そのうちの特に南北成分について解析をしたものである。高周波領域(数十分から数時間という周期範囲)ではエネルギー密度は単調に減少しており、図にひかれてある直線は $-5/3$ 乗則に相当するものである。中間周波領域には3つのピークがマークされているが、このうちDとSはそれぞれ日周潮、半日周潮に対応し、Iは慣性周期(北緯45度であるから、約16.7時間)に対応する。慣性周期でのピークが最高であることが読みとれる。このように外洋の表層近くでは慣性周期またはその近傍にエネルギーのピークが存在することは、このような連続観測の技術が進んで長期の記録が得られるようになってはじめて確認されるようになったものである。メキシコ湾流に近いアメリカ東部沿岸沖のサイトDにおけるウッツホール海洋研究所の観測記録の解析がこの問題の解明に大きく貢献したことは有名である。

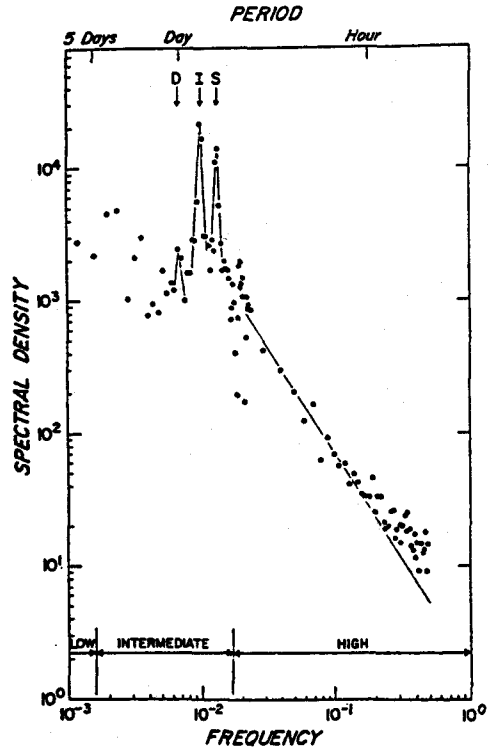


図-1 海水流動スペクトルの一例、オレゴン沖水深約1000メートル海面下40メートル、南北成分スペクトル密度 $(\text{cm/sec})^2/10\text{分}$ 、周波数 $(10\text{分})^{-1}$

このようなブイ・ステーションに複数箇の流速計をとりつけ、アレイ展開をすることによって流動の空間構造を調べることができる。このオレゴンの観測でも、またウッツホール海洋研究所の記録の解析例でみても、水平方向の距離差がかなり大きくてもコヒーレンスはあまり落ちない。しかし、同一地点でも海表面からの深さが異なる計測間の観測値のコヒーレンスはきわめて小さいことが注目される(慣性周期成分に関して)。かくて慣性周期の流動は時として大きなエネルギーを持っており、水平方向の相関度は高いものの鉛直方向にはあまり高い相関はないということが言えよう。高周波成分については水平方向のコヒーレンスも比較的短い距離で大きく減少することは、このような流速測定その他、表層水温のリモートセンシング結果の解析等からも確認されている²²⁾。

今後の海洋空間の利用に関連してこれら各種の流動成分のいずれが大きく関係するようになるかとい

うことは、気象条件等も関係するので明確に予想するのはむづかしいが、時として大きなエネルギーを秘める慣性周期の流動について研究をしておく必要もあるのではないかと思われる。

4. 慣性周期の運動

境界をもたない外洋での自由振動としての慣性周期運動は、よく知られているように、運動及び連続の方程式をそれぞれ、

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f v = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + f u = 0$$

および

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4.2)$$

とおくことにより

$$u = v_0 \cos f t \quad (4.3)$$

$$v = -u_0 \sin f t$$

のごとく得られる。これは $T = 2\pi/f$ (但し f はコリオリのパラメータ) を周期とする運動で、減衰の項や、境界の影響を入れる余地もないきわめて現実性の乏しい表現ではあるが、コリオリ力と慣性力のつり合いを表現している。

ところでこのような慣性周期振動の起源については様々な推測が可能であるが、現実的に観測された慣性周期振動が、海域の風、あるいはその風の向きや大きさの変動によく対応しているケースが多い²³⁾ことから、海上風によって励起されるという仮定についての理論的な検証が、Veronis²⁴⁾ 他何人かの人によって試みられている。表層に風の応力が作用するとしてはじめに示した方程式を書きなおせばよいわけであるが、Pollard²⁵⁾ は水深 H の海洋についてブーシネスク近似および静水圧近似が成立すると考え、これに線型摂動の式を加えて、

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f v + \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial v}{\partial t} + f u &= \frac{1}{\rho} \tau_y, Z(z) \\
 b + \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \\
 \frac{\partial b}{\partial t} - N^2(z) w &= 0 \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

とおくことから出発して、この問題に関するいくつかの観測事実を説明するモデルを提案している。

(4.4) 式は、これを適当に数値計算しても観測結果に対応するような海上風 *vs.* 慣性周期波動の試算が可能であるが、これをまとめて

$$\left(f^2 + \frac{\partial}{\partial t^2} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + N^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{f}{\rho} \tau_y \frac{d^2 Z}{dz^2} \quad (4.5)$$

あるいは

$$\left(f^2 + \frac{\partial}{\partial t^2} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + N^2(z) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = - \frac{f}{\rho} \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \frac{dZ}{dz} \quad (4.6)$$

という具合に表現することもできる。左辺を零とおいた斉次式を考えるといわゆるノーマルモードを求める問題となって、風の応力について適当な表現を与えてやることにより *w* あるいは *u* についての解を計算することができる。

Pollard は *y* 方向に一定時間だけ風応力が作用すると考え、その空間分布がハーモニックであると仮定して、

$$\left. \begin{aligned}
 \tau_y &= 0 & t < 0 \\
 \tau_y &= G(x) & 0 < t < T \\
 \tau_y &= 0 & t > T
 \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

および

$$G(x) = \tau_0 \sin kx \quad (4.8)$$

とおき

$$\begin{aligned}(u, v) &= (u', v') \sin kx \\ (w, p, b) &= (w', p', b') \cos kx\end{aligned}\quad (4.9)$$

として

$$\begin{aligned}[u', v'] &= \sum_{r=0}^{\infty} [u_r(t), v_r(t)] \phi'_r(z) \\ w' &= \sum_{r=1}^{\infty} w_r(t) \phi_r(z)\end{aligned}\quad (4.10)$$

のごとく変数分離型を仮定して、ノーマルモードの解を使い、さらに

$$Z(z) = \sum_{r=0}^{\infty} Z_r \phi'_r(z) \quad (4.11)$$

とおくと (4.5) 式は

$$\begin{aligned}\frac{d^2 u_r}{dt^2} + S_r^2 u_r &= \frac{f}{\rho} \tau_0 Z_r & 0 < t < T \\ &= 0 & t < 0, t > T\end{aligned}$$

但し

$$S_r = f \sqrt{1 + \frac{k^2}{f^2 \lambda_r^2}} \quad (4.12)$$

となり、その解は

$$u_r = \frac{f Z_r \tau_0}{S_r^2 \rho} \{ \cos S_r (t - [t]) - \cos S_r t \} \quad (4.13)$$

と得られることを示した。

$$\begin{aligned}\text{但し, } [t] &= t & 0 < t < T \\ &= T & t > T\end{aligned}$$

$$\lambda_r = \frac{r\pi}{NH} \quad r = 0, 1, 2, 3 \dots$$

である。

(4.4) 式より

$$v_r = \left(1 - \frac{f^2}{S_r^2}\right) [t] Z_r \frac{\tau_0}{\rho} + \frac{f^2 Z_r \tau_0}{S_r^3 \rho} \left\{ \sin S_r t - \sin S_r (t - [t]) \right\} \quad (4.14)$$

$$\text{これより } u_0 = 0 \quad v_0 = [t] Z_0 \frac{\tau_0}{\rho}$$

Z_r は $N(z)$ によってきまってくるが

$$N(z) = \text{const} \quad 0 < z < H$$

をケース I

$$N(z) = N_1 = \text{const.} \quad 0 < z < H_1$$

$$= N_2 = \text{const.} \quad H_1 < z < H_1 + H_2 = H$$

をケース II とすると

$$\left. \begin{aligned} Z_r &= \frac{1}{H} & r &= 0 \\ Z_r &= \frac{2}{rHa} \sin \frac{r\pi a}{H} & r &> 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

がケース II について成り立ち

$$\left. \begin{aligned} Z_r &= \frac{1}{H} & r &= 0 \\ &= \frac{4H_1}{r\pi aH} \sin \frac{r\pi a}{2H_1} & r &> 0, \text{ } r \text{ 偶数} \\ &= \frac{4H_2}{r\pi aH} \sin \frac{r\pi a}{2H_1} & r &> 0, \text{ } r \text{ 奇数} \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

がケース II について成り立つ。

(4.14) 式の第一項と v_0 とは、風が止まった時の非振動成分を表わしており、これを v についての地衡流成分とすると、

$$v_G = [t] \frac{\tau_0}{\rho} \sin kx \left[Z_0 \phi'_0(z) + \sum_{r=1}^{\infty} \left(1 - \frac{f^2}{S_r^2}\right) Z_r \phi'_r(z) \right] \quad (4.17)$$

これを引いた部分が振動成分で、その振動数 S_r は k が小さければ慣性周期 f と殆んど変わらない。

$$\left. \begin{aligned} u_I &= \frac{\tau_0}{\rho} \sin kx \sum_{r=1}^{\infty} \frac{f}{S_r^2} Z_r \phi'_r(z) \{ \cos S_r(t - [t]) - \cos S_r t \} \\ v_I &= \frac{\tau_0}{\rho} \sin kx \sum_{r=1}^{\infty} \frac{f^2}{S_r^3} Z_r \phi'_r(z) \{ \sin S_r t - \sin S_r(t - [t]) \} \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

今 $H = 5 \text{ km}$, $f = 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$, $N^2 = 10^{-4} \text{ sec}^{-2}$, $a = 100 \text{ m}$ として $\tau_0 = 1 \text{ dyne/cm}^2$ に対応する u_I , v_I を計算してみると $t = 10T$ で図-2のごとくなる。表層近くでの流速はかなり大きく、またこの程度に持続すると表面からかなり深いところまで慣性周期の波動が伝えられることがわかる。

5. 鉛直輸送、沿岸湧昇

第3節にも記したように海洋における流動は一般に水平方向には大きい鉛直方向には小さい。成層化している水域では従って特に鉛直方向のグラジエントが大きい。もし鉛直方向の流動を励越したり、制御することができれば、あまり大きなエネルギーを使わなくても効率的に海洋の利用や管理ができるのではないかという希望が生れることになる。温度差発電などというのもこのような鉛直方向の海水温の差を利用しようという発想にもとづいている。コロンビア大学が参加してカリブ海の島

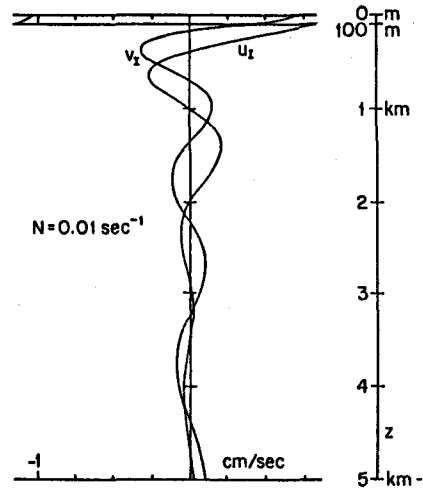


図-2 慣性周期運動の南北成分、東西成分

で行われた温度差発電に関連したパイロット実験²⁴⁾では、深層から揚水した冷水を海岸に設けた養殖池に供給し、深層水中に豊富に含まれる栄養塩によって大量のプランクトンを栽培することに成功している。天然礁の附近には良好な漁場が存在するケースが多いことから、この主要な存立条件を湧昇及び温流の形成に求め、人工的な構造物を建設して同様な機能を果させようとする研究²⁵⁾も進行している。

海洋学的な意味での湧昇は上述のものより規模が大きく、時間的には数日以上続くこと、空間的にも数キロ以上の水平スケールをもつ海水塊が上昇する場合をさす。このような湧昇現象の存在する海域は全世界の海洋の0.1%の面積を占めるに過ぎないにも拘わらず、そこでの魚類生産量は世界の全生産量

の約50%に達するという計算結果もある。その意味では湧昇現象のメカニズムの研究、生起海域の発見、あるいは気象との関連からその予報、モニタリングなど、また海洋学的な湧昇とはスケールが違うが、人工礁等の構造物を利用した鉛直輸送の誘起などについて、今後さらに関心がたかまり、観測や技術開発までを含めた研究活動が盛んになるものを期待したい。

海洋学的な沿岸湧昇については前節と同じように考えて、沿岸海域に陸岸と平行の方向に風が吹いた場合、エクマン輸送の補償流の形で沿岸湧昇が誘起されるという古典理論は様々な文献で紹介されている²⁶⁾。湧昇の規模、湧昇流速等について観測上の裏付けが殆んどなく、渦粘性係数など現実とその大きさを推定するのがむづかしいパラメータが理論のなかで重要な位置をしめているというようなことから、1970年代に入ってCUE (Coastal Upwelling Experiment) なる研究計画が組織され、オレゴン、カリフォルニア、ペルー、アフリカ北西岸などで碇置ブイステーションを利用した流速の連続測定やCTD、XBTなどによる微細構造の観測を含む大規模な現地実験、データ解析、理論モデルの検討などが行われ、この問題についての知見は飛躍的に拡大強化されるにいった²⁷⁾。

CUEによってたしかめられたことのうちには、このような沿岸湧昇現象は間歇的なものであり、はじめから終りまで連続するものではないこと、海岸と湧昇域の間にフロント構造が形成され、このフロント内部では水温の逆転現象がみられることなどがある。湧昇の開始に伴って温度躍層が上昇して海表面に近づく、あるいは海表面に露出するが、これもしたがって間歇的に鉛直方向の移動を行っていることになる。その他、このような湧昇現象が陸棚海域あるいはその外縁を波(ケルビン波?)の形で伝播し得るのではないと思われる観測結果も報告されている²⁸⁾。

6. む す び

沖合海域の海洋学を展望することを意図したが時間切れとなってしまった。沖合海域の空間利用についての研究開発が進むにつれて、いずれはこのような問題を含む沿岸海域の海洋水理学が土木技術者の知的好奇心の対象あるいは調査・計画の基礎となってくることであろう。海洋学会の沿岸海洋部会が編集している沿岸海洋研究ノートその他、最近では参考にできる文献²⁹⁾もふえてきている。折をみての渉猟をすすめたい。

参 考 文 献

- 1) National Academy of Sciences & National Academy of Engineering : An Oceanic Quest, Publication 1709, N A S, Washington, D. C., 1969.
- 2) 海洋開発審議会：長期的展望にたつ海洋開発の基本構想について — 21世紀の海洋の開発と保全, 1979.
- 3) 総合研究開発機構：新海洋時代に対応する海洋開発関連法制に関する研究, N R C - 79 - 5,

1981.

- 4) 国土庁計画調整局：日本21世紀への展望 — 国土空間の新しい未来像を求めて — , 1984.
- 5) 堀部純男編：環境科学としての海洋学 3, 東京大学出版会, 1979.
- 6) 梶浦欣次郎：海洋の動態, 東京大学出版会, 1985.
- 7) 海洋科学技術センター・海域制御技術研究会編：海域の利用と制御技術に関する実態調査報告書, 1982.
- 8) 日本造船振興財団：海洋空間の有効利用に関する調査報告書, 1983.
- 9) 科学技術庁資源調査所：海洋空間の高度利用に関する調査, 資源調査会資料第129号, 1985.
- 10) 運輸省他編：新しい国土の創造 — 沖合人工島構想, フジ出版, 1981.
- 11) 野村総合研究所：沿岸域利用標準計画作成のための基礎調査, 1984.
- 12) 酒匂敏次：沿岸域利用計画への道, 人と国土 9-4, 1983.
- 13) 酒匂敏次：海洋環境の創造, 環境情報科学13-3, 1984.
- 14) 酒匂敏次：海洋, 土木工学大系第19巻地域開発論(I), 彰団社, 1977.
- 15) 日本総合研究所：沿岸域総合利用基礎調査報告書, 1979.
- 16) 長尾義三監：沿岸域総合利用基礎調査報告書, 1979.
- 17) 日本総合研究所：沿岸域情報の整備課題に関する調査報告書, 1984.
- 18) Lee, T. T. : Research Needs and Facilities Requirements, Proc. Workshop on Shallow Water Ocean Engineering Research, J. K. K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering, University of Hawaii, 1983.
- 19) 永田 豊：海象, 土木工学大系第3巻自然環境論(1), 彰団社, 1977.
- 20) Sakou, T & Steve Neshyba : The temporal structure of oceanic motion off the Oregon coast, northeastern Pacific, 1969, J. Mar. Res., 30-1, 1972.
- 21) Webster, F. : Observations of inertial-period motions in the deep sea, Rev. Geophys., 6-4, 1968.
- 22) 酒匂敏次：人工衛星赤外画像による外洋表層水分布解析の最近の成果について, 航水研ノート, 空と海, 第2号, 1980.
- 23) Pollard, R. T. : On the Generation by Winds of Inertial Waves in the Ocean, Contribution No. 2322 WHOI, 1969.
- 24) Roels, O. A. : The Economic Contribution of Artificial Upwelling Mariculture to Sea-Thermal Power Generation, Proc. 3rd Workshop on OTEC, Johns Hopkins Univ. APL, 1975.
- 25) 中村 充他：礁による流動環境に関する研究, 第27回海岸工学講演会論文集, 1980.
- 26) 吉田耕造：湧昇, 海洋物理学 I, 東京大学出版会, 1974.

- 27) Mooers, C. N. K. et al : The dynamic structure of frontal zone in the coastal upwelling region off Oregon, J. Phys. Oceanogr. 6, 3-21, 1976.
- 28) Huyer, A. et al : The spring transition in currents over the Oregon continental shelf, J. Geophys. Res. 84, 1979.
- 29) 永田 豊：海象, 自然環境論(I), 土木工学大系第3巻, 彰国社, 1977.
- 30) 国土計画研究会：日本の海洋利用, きょうせい, 1983.