沿岸海洋学の展望*

柳 哲雄[†]

Prospect of Coastal Oceanography

Tetsuo Yanagi[†]

Abstract

The prospect of coastal oceanography toward 21 century is reviewed. Interdisciplinary study among physical, chemical and biological oceanography will have to be promoted in the coastal sea in order to understand quantitatively the processes of material transport. Moreover, we have to increase the amount of observational data and the rigorous method of data processes has to be developed.

1. はじめに

海洋学 (Oceanography) を“海の中における運動量やエネルギーや生物も含む物質の動きを定量的に記述する学問”と定義すれば、沿岸海洋学 (Coastal Oceanography) とは“200m 以浅の沿岸海域における運動量やエネルギーや生物も含む物質の動きを定量的に記述する学問”ということになる (柳, 1989).

本稿では主として物理的な観点から、現在までの日本における沿岸海洋学の動きをまとめ、21 世紀に向けて沿岸海洋学の進むべき方向を明らかにすることを試みる。

2. 現在までの沿岸海洋学

現在までの沿岸海洋学においては沿岸海洋物理学 (Coastal Marine Physics), 沿岸海洋化学 (Coastal Marine Chemistry), 沿岸海洋生物学 (Coastal Marine Biology) がそれぞれ独自に研究を行ってきた。いわば各研究者は各専門分野の研究を海という場でやってきたわけで

ある。最初にそれぞれの学問の特徴を見ておこう。

沿岸海域における物理的な移流・分散過程を研究してきたのが、沿岸海洋物理学である。沿岸海洋物理学は沿岸海洋学の基礎をなしているという特徴を持っているが、それは以下述べるような理由による。いま沿岸海域のある 1 点で観測を行って、ある化学成分の濃度変化や、ある生物種の生息密度の時間変動を観測したとしよう。もし研究者がこの海域の移流・分散の情報を正しく認識していなければ、得られた結果がその観測点で起こった化学反応過程や生物の増殖・減耗過程によるものなのか、単なる水塊の移動によるものなのかを判断出来ない。したがって、沿岸海域における化学過程や生物過程を研究しようと考えれば、水塊の移流・分散に関する情報を基礎知識として持つておくことが必須となる。

一方、海洋における物質の動きの結果はそれぞれの物質の海洋中の濃度分布として現れるから、沿岸海洋化学は沿岸海洋学の物質の動きを表すという目的を最も表現しやすい学問であると言ってもよい特徴を持っている。もちろん化学成分の濃度分布には物理過程のみならず、生物過程が大きく関与しているから、海洋化学と海洋生物学の関わり度は大きい。

また、人類にとっての海の重要性は最終的には海の生物を通じて捉えられることが多いから、沿岸海洋生物学

* 1991 年 11 月 25 日受領 ; 1991 年 12 月 1 日受理

[†] 愛媛大学工学部土木海洋工学教室 ; 〒 790 愛媛県松山市文京町 3 番

[‡] Department of Civil and Ocean Engineering, Ehime University, Matsuyama 790, Japan

は人類と海の関連という観点からは、最も重要な学問であるという特徴を持っている。

このように沿岸海洋学の3つの学問分野はそれぞれの特徴と存在意義を有していて、それぞれに関連しあいながら、現在までお互いにある程度独立して研究を進めてきたという状況にあった。

このような現在までの沿岸海洋学の学問のあり方は、いわば海という織物を1本1本の糸に分解し、その糸の性質を物理、化学、生物という眼鏡を通して明らかにしようとしてきたとも言えるであろう。しかし今後21世紀に向かっては、以下述べるような理由により、海という織物を織物のままで総合的に研究する手法が必要とされる時代になることは疑いない。

3. 沿岸海域の物質輸送機構

海洋において物質を輸送する基本的な過程は移流・分散という物理的過程であるが、このような物理過程だけで物質輸送機構が決まるわけではない。

たとえば瀬戸内海の大阪湾においては、塩分のような海水に溶けたままで形態を変化させない物質と、窒素のような溶存態から懸濁態、あるいはその逆へと形態を変化させる物質ではその平均滞留時間が異なることが明らかにされている(柳・高橋, 1990)。これは海水中の懸濁態が沈降速度を持って、海水とは相対的な運動を行い、沿岸海域の上層から下層に沈降し、下層の河口循環流により、湾奥に戻っていくためである(Takeoka and Hashimoto, 1990)。すなわち、光合成により溶存態の窒素が懸濁態の窒素に変化し、またバクテリアの分解により懸濁態の窒素が再び溶存態に回帰するという生化学過程が物理過程と関連しあって、窒素の物質輸送機構を決めているわけである。

さらに、同じ窒素でも東京湾と大阪湾では平均滞留時間が異なることも明らかにされている(柳・高橋, 1990)。両湾で塩分は同様に輸送されているのにである。このような東京湾と大阪湾の窒素の輸送機構の相違の原因は、両湾に住むプランクトンの大きさの違いに起因するという作業仮説も提案されている(柳, 1991)。すなわちFig. 1に模式的に示すように、大阪湾の動物プランクトンは大型種なので、その糞はすみやかに下層まで沈降して分解されるが、東京湾の動物プランクトンは小型種なので、そ

の糞が沈降しにくく上層で分解され、ただちに次の光合成に使われる。結果的に、大阪湾の窒素は上層、下層にわたり物質循環しているのに対して、東京湾の窒素の物質循環は上層のみで行われているので、塩分の平均滞留時間は両湾で等しいにも関わらず、窒素の平均滞留時間は大阪湾の方が東京湾より長くなるというものである。

このように考えてくれば、沿岸海域の物質輸送機構を定量的に明らかにしようとするれば、物理、化学、生物のすべての情報をきちんと得ておく必要があることは自明であろう。ところが、高度に専門化した現在の各分野の研究内容を見れば、一人の研究者が物理、化学、生物のすべての研究手法を我が物として修得することは不可能であることも同時に明らかである。

かくして、今後の研究のひとつの方向は沿岸海域における学際的研究を盛んにして、物理海洋学(Physical Oceanography)、化学海洋学(Chemical Oceanography)、生物海洋学(Biological Oceanography)という観点から共同研究を行うことであるということが明らかとなる。すなわち今までの各専門分野は海洋学というひとつの学問を行うための異なった方法論として位置付けられるようになるであろう。

また上述した東京湾と大阪湾の比較研究は今後の沿岸海洋学のひとつの方向として“比較沿岸海洋学”とでも呼べるような方向も存在していることを示唆している。従来、日本の各沿岸海域ではその海域を専門的に研究している研究者が存在し、各沿岸海域の研究がそれぞれ独立して行われてきたという状況にあった。今後は同じ研究者が同一の研究方法で各沿岸海域を比較研究することにより、沿岸海域の物質輸送機構の本質を明らかにすることがより容易になるであろうというわけである。

4. 沿岸海域における学際的研究の例

上述したような観点から我々は数年前から物理、化学、生物海洋学者有志による学際的研究グループを作って沿岸フロントの研究を行ってきた。その結果、Fig. 2に示すように豊後水道北部に夏季発生する潮汐フロントと東京湾口に冬季発生する熱塩フロントの物理、化学、生物構造をある程度明らかにすることが出来た(柳編, 1990; Yanagi et al., 1991a; 1991b)。

このように沿岸フロントの理解が進んだことは、同時

Fig. 1. Schematic representation of mass transport mechanisms in Tokyo Bay and Osaka Bay.

に新たな研究課題も生み出した。たとえば、物理にとってはフロント近傍の詳細な流動構造を定量的に明らかにすることが生物側から要求されている。すなわち、フロントに蜆集する仔稚魚にとって自らの遊泳能力を越える水平流速や鉛直流速がフロント近傍に存在していれば、沿岸フロントは仔稚魚の生き残り戦略にとって有益な場とはなり得ない。ゆえにどの程度の流速値がフロント近傍で存在しているのかを、生物学者は是非知りたいというわけである。また化学にとってはフロント近傍の化学物質のわずかな濃度変化がどのような生化学過程によるものなのかを明らかにすることが新たな課題として浮かび上がってきている。さらに生物にとっては、潮汐フロント近傍で活発に産卵を行っているはずのカイアシ類のノープリウスの現存量が少ない理由としてクラゲによる摂食が予想されるが、クラゲの生態に関する情報が不足しているため、今後早急にクラゲの生態研究を行うことが新たな研究課題として浮かび上がってきた。

このように学際的研究を行うことの意義は、新たな知見が得られることはもちろんのこと、新たな研究課題が浮かび上がってくることにある。それぞれの専門分野で研究している場合には見逃すか、積極的には関わりたくないような研究課題も学際的研究の中では真剣に取り組まざるを得なくなるという事情もある。筆者自身はそのような強制力が学問の新たな突破口になることもありえると考えている。ただそのためには学際的研究を行う研究者同士がお互いの研究を熟知して、お互い相手に鋭い研究課題を要求出来るようにならなければならない。

このような各研究者の相互的なやりとりを通じて、沿

岸海域を「物質輸送機構を明らかにする」という観点から総合的に捉えることにより、沿岸海洋学はより豊かな学問へと成長し、さらに高度な問題意識も培われていくであろう。

5. データ処理法

現在の沿岸海域においては昔と比較すればはるかに多量のデータが得られるようになってきた。それでも陸上の気象分野などと比較すればまだまだデータの絶対量は不足している。今後の沿岸海洋学のひとつの課題は、Fig. 3 に示すように最新の電子観測装置を動員して過程追求型の実験的観測を行うと同時に、沿岸海域に多くのブイなど自動観測ステーションを設置して、時間、空間的に密な物理、化学、生物情報を得ることにある。

もちろんこのようにして多くのデータを得ても、観測のみにより沿岸海域における時間、空間変動を完全に捉えることは不可能である。したがって得られた有限な観測データから我々に必要な情報を取り出す、あるいは必要な情報を類推するデータ処理法、研究手法が当然必要とされてくる。

そのためには物理研究者がやはり基礎的な役割を果たすことが必要となる。すなわち観測された水温、塩分場から運動方程式、状態方程式、移流・分散方程式を解いて流動場を推定するとか、観測された栄養塩やプランクトン密度の時間、空間変動データから生態系モデル用いて各種の生化学パラメータの大きさを推定するとか、というような、観測されたデータから観測されなかった(あ

Fig. 2. Physical, chemical and biological structure of tidal front in the Bungo Channel (a) and that of thermohaline front at the mouth of Tokyo Bay (b).

るいは出来ない) 必要なデータを推定する, という研究手法がますます大きな力を発揮するであろう。

また物理沿岸海洋学独自の研究課題としては, 沿岸海域における基本的な物理素過程がほぼ解明出来た現在(柳, 1989), 4次元データ同化手法などを用いた定量的な沿岸海況予測手法を確立することが大きな課題となるで

あろう (Yanagi and Yamamoto, 1991)。

6. おわりに

学問の進歩は個々の研究者の「ある研究をしたい」という個人的な意欲と, 「ある研究が必要である」という予

Fig. 3. Idealized observation system around the coastal front.

算や共同研究を行う他の研究者などを含めた社会的な状況に依存している。沿岸海洋学の場合はその研究の場が人類の経済活動が盛んな沿岸海域であるという事情から、特に後者の社会的要請が大きい。したがって沿岸海洋学の研究者はいたずらに後者の社会的条件に振り回されることなく、前者の自ら研究したい意欲をきちんと保って、研究を進めていくことが大切であろう。

おそらく、どのような研究者にも確固とした研究の将来展望など存在し得ないだろう。自らの研究の意欲と客観的な研究条件がうまく合致して、しかるべき研究成果があがれば、それが次の時代につながっていく学問となり、結果的に学界全体の学問の展望を切り開いたことになるのであろう。

ある海洋研究者の将来の研究展望が結果的に学界全体の学問の展望となるかどうかは、展望を語る研究者の自然に対する洞察力と社会的な条件に恵まれるかどうかにかかっている。

本稿をまとめるにあたり貴重な議論をして頂いた愛媛大学工学部武岡英隆助教授に感謝の意を表する。

References

- Takeoka, H. and T. Hashimoto (1988): Average residence time of matter in coastal waters in a transport system including biochemical processes. *Cont. Shelf Res.*, **8**, 1247-1256.
- 柳 哲雄 (1989): 沿岸海洋学—海の中でのものはどう動くか. 恒星社厚生閣, 東京, 154 pp.
- 柳 哲雄編 (1990): 潮目の科学—沿岸フロントの物理・化学・生物過程. 恒星社厚生閣, 東京, 169 pp.
- 柳 哲雄 (1991): 東京湾の物質輸送過程. 月刊「海洋」, **23**, 175-177.
- Yanagi, T., O. Matsuda, S. Tanabe and S. Uye (1991a): Interdisciplinary study on the tidal front in the Bungo Channel, Japan. p. 617-630. *In: Dynamics and Exchanges in Estuaries and the Coastal Zone*, ed. by D. Prandle, Springer-Verlag, New York.
- Yanagi, T., T. Saino, T. Ishimaru, H. Nakata and Y. Iwatsuki (1991b): Inter-disciplinary study on the thermohaline front at the mouth of Tokyo Bay in winter. *J. Mar. Sys.*, **1**, 373-381.
- 柳 哲雄・高橋 暁 (1988): 大阪湾の淡水応答特性. 海と空, **64**, 63-70.
- Yanagi, T. and T. Yamamoto (1991): Data assimilation for the prediction of coastal sea condition. *In: Proceedings of Advanced Marine Technology Conference*, (in press).