

# 赤潮に関連した海水の紫外吸収スペクトルと 赤潮発生についての2, 3の考察\*

小 黒 美 樹\*\*

## 1. 緒 言

赤潮の発生要因に関し、未だ確定的なものが見いだされておらず、お互いの要因が、相乗的なものとされている。

赤潮について、現在行なわれているプロジェクト的な研究<sup>1)</sup>の主なるものは、“大規模赤潮の形成および赤潮被害防止に関する研究”“赤潮による底質汚染機構に関する研究”さらに、“海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎的研究”などがあり、成果を挙げつつある。

しかしながら、赤潮は、赤潮生物によっておこる現象であることから、赤潮生物を主体にした環境把握が必要となるが、赤潮生物を指標としての、赤潮発生原因となる要素についての研究は、非常にしにくい面がある。

そこで、植物性プランクトンは、光合成的独立栄養を営むもので、繁殖の過程で体外に分泌、排泄される有機物(溶存態)に着目し、有機物は紫外線をよく吸収する特性があることから、赤潮の発生原因の究明の一環として、有機物の検索を取り上げ、特に赤潮の発生にともなう、有機物の全貌を把握すべく、赤潮に関連した海水の紫外吸収スペクトルについて、昭和52年から研究を行なった。

一方、赤潮生物の分布については、植物性プランクトンは、一種の有機質の粒子と見做されることから、Coulter Counter法で、粒径を2 $\mu$ ~50 $\mu$ の16分画について、それぞれの個体数を求め、全粒子濃度、優占種を推定した。

ここでは、赤潮の発生と海水の紫外吸収スペクトルについて報告するとともに、赤潮の発生について、著者が調査研究して来た、播磨灘海域と、環境庁実施の瀬戸内海の広域総合水質調査、さらに徳島県水産試験場で実施、公表されている徳島沿海の海況と漁況の資料にもとづいて、赤潮の発生と海況を考察し、海況の変動について、黒潮流軸の挙動との関係まで言及する。

## 2. 調査研究方法

昭和50年から昭和54年にわたり、徳島県沿岸海域で発生した赤潮海水を採取し、ミリポアフィルター(HA type 0.45 $\mu$ )で濾過し、濾過海水について、島津デジタルダブルビーム自記分光光度計 UV 210 型で、10 mm または 50 mm の石英角型セルを使用し、200~400 nm の波長域の紫外吸収スペクトルを蒸留水を対照として測定した。濾過に使用したフィルターの一部は、アセトン抽出、分光光度法によって、クロロフィル a の定量に供された。

一方、純粋培養を行なった赤潮プランクトン5種(徳島県水産試験場提供)について、前者と同様の方法で処理し測定した。

植物性プランクトンの粒径および粒子数を知るため、Coulter Counter ZB 型を用い粒径2~50 $\mu$ の16分画について、粒径分布を測定した。

赤潮の調査研究海域として、播磨灘を選定し、総合的調査および定期的調査を昭和50年から昭和56年にわたって実施し、その他の海域として、紀伊水道西部海域についても若干調査を行なった。

## 3. ホルネリアによる赤潮の発生状況

(県水産課調べ)

1. 昭和47年：7月~8月
2. 昭和52年：8月下旬
3. 昭和53年：7月中旬~8月上旬
4. 昭和54年：7月上旬~8月中旬
5. 昭和55年：発生なし  
(燧灘7/4~19, 備後灘7/11~18発生)
6. 昭和56年：発生なし

## 4. 海水の紫外吸収スペクトル<sup>2)</sup>

### 4・1 赤潮海水の紫外吸収スペクトル

\* Ultraviolet Spectrum of Sea Waters in relation to Red Tide and Developmental Theory of Red Tide.

\*\* Miki OGURO (徳島県公害センター) Environmental Science Research Center of Tokushima Prefecture.

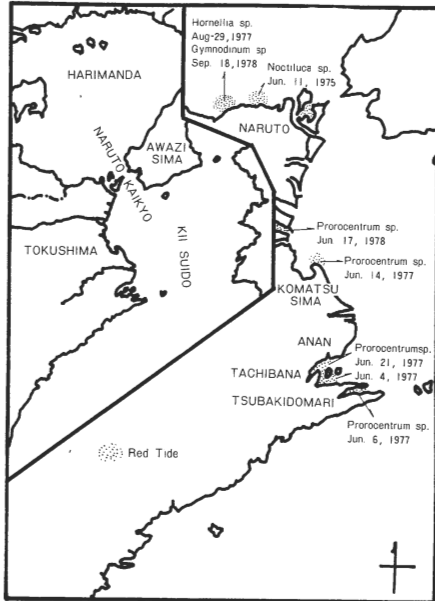


Fig. 1 Location of Sampling stations at Red Tide along the coastal area of Tokushima.

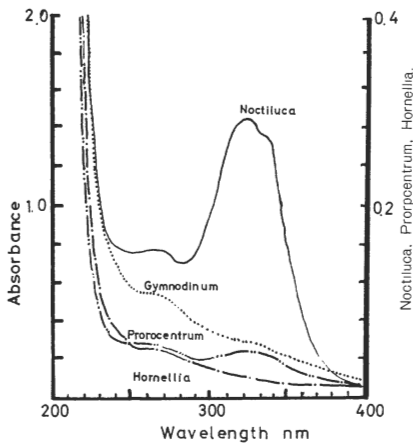


Fig. 2 UV absorption spectra of Red Tide sea waters containing Noctiluca, Gymnodinium, Prorocentrum and Hornellia.

昭和50年4月以降, 昭和53年10月までの間に採取された赤潮海水は Fig. 1 に示すように, 播磨灘および紀伊水道西部海域の沿岸, 内湾で10検体である。赤潮プランクトン種は, Noctiluca sp, Hornellia sp, Gymnodinium sp, Prorocentrum sp. の4種であった。これら赤潮プランクトン種の異なる, また, 個体数も異なる試料の紫外吸収スペクトルの1例は Fig. 2 のとおりである。これからわかるように, 全試料ともに共通している点は, 230 nm 以下の短波長域に強い吸収がみられることであ

る。しかし, 250 nm 以上の長波長域において, 270 nm 付近にゆるやかな吸収がみられ, かつ, 320 nm~350 nm に極大吸収がみられ, それより長波長域において急激に吸光度は減少し, ほとんど変化がなくなる型 (Type A) と, 320 nm~350 nm にわずかに吸収があり, 吸光度が漸次減少する型 (Type B) とがある。

250 nm 以下の短波長域での強い吸収は,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$  および  $\text{Cl}^-$  などによるもので, 一部, 有機物によるものと考えられ, 小倉<sup>3-6)</sup>によって研究がなされている。

#### 4・2 淡水赤潮水の紫外吸収スペクトル<sup>7)</sup>

実測例は少ないが, 新町川河口, 勝浦川上流, 正木ダム貯水池および那賀川上流, 小見野ダム貯水池内での赤潮水について測定したが, 全体的なパターンは前者と類似し, 270 nm 吸光度の変化が少ないが, ゆるやかな吸収がみられていることがわかった。

#### 4・3 赤潮水 (純粋培養) の紫外吸収スペクトル

純粋培養されたプランクトン種は, 次の5種である。

- 1) 1972年 Type Hornellia sp. 37,300 cells/ml
- 2) 1977年 Type Hornellia sp. 21,800 cells/ml
- 3) Olisthodiscus sp. 55,200 cells/ml
- 4) Rhizosolenia sp. 47,300 cells/ml
- 5) Prorocentrum sp. 8,900 cells/ml

これらの紫外吸収スペクトルを Fig. 3 に示した。

1972年および1977年の両年度の Hornellia sp. は変曲点が 260 nm 付近で, 270 nm 付近にゆるやかな吸収と, 320 nm~340 nm に吸収極大がみられる Type A に属するものであり, 大量培養した Hornellia sp. および Olisthodiscus sp. などは, 270 nm にゆるやかな吸収がみられ, 320 nm~340 nm には吸収がみられない Type B に属する。

純粋培養に用いられた培地の紫外吸収スペクトルは, 250 nm より短波長域に吸収があり, 250 nm より長波長域では 300 nm に若干の吸収がみられるものの, ほとんど吸収がみられていない。このような培地に, 赤潮生物が接種され, 一定期間培養した結果が Fig. 3 のとおりであるから, 培養によって長波長域での吸収が高いのは, プランクトンからの分泌, 排泄による有機物であることが確認される。

#### 4・4 無機イオンが紫外吸収スペクトルに及ぼす影響

$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$  および  $\text{Br}^-$  などについて, 紫外吸収スペクトルを測定すると, 240 nm より短波長域で, 210 nm~230 nm に吸収がみられ, 250 nm より長波長域においては, まったく吸収がみられていない。したがって, 250 nm の長波長域での吸光度が高いのは, 有機化合物によるものである。

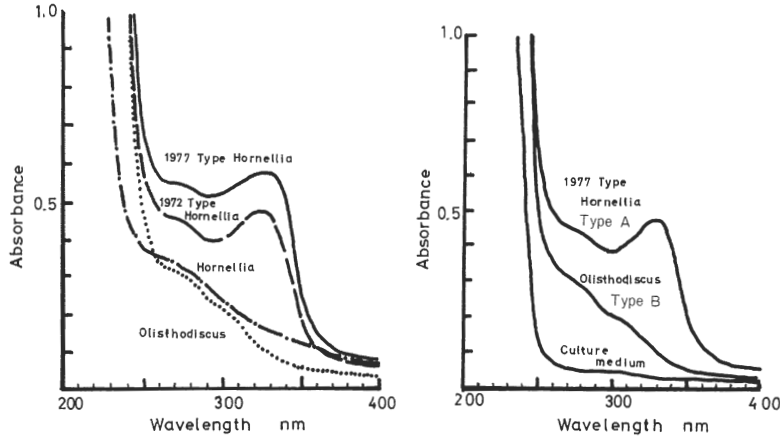


Fig. 3 UV absorption spectra of pure cultivation of Hornellia, Olisthodiscus and Culture medium.

#### 4・5 赤潮海水の希釈にともなう紫外吸収スペクトルの変化

赤潮海水は、赤潮生物の濃密な部分で、海水の色を変色さすほどであるから、そのなかに含まれている有機物も相当以上に存在する。そのために希釈して測定する必要が生ずる。赤潮生物に影響を与えず、かつ、有機物に変化を及ぼさないものを選択しなければならない。希釈に用いる溶液は、以上のことを考え、赤潮海水と同程度の食塩水を用いばよくなり、希釈によって、比例的に吸光度も減少することが確認され、使用できることがわかった。

#### 4・6 270 nm 付近での吸収波長の決定

有機物、すなわち、植物性プランクトンに由来の、吸収波長を決定するため、前述の紫外吸収スペクトルの Type A の Noctiluca について、一次微分スペクトルを求めると、波長 270 nm 付近が 270 nm に、320 nm ~ 340 nm 付近では 324 nm となる。よって、植物性プランクトン由来の有機物の紫外吸収は 270 nm とし、指標として用いられる。324 nm は Type B が多く、自然界では、その頻度も少なく、かつ、変化も小さいので、特別の場合をのぞき使用しないこととした。

#### 4・7 Coulter Counter 法による粒径分布

純粋培養された1972年型 Hornellia sp. と1977年型 Hornellia sp. との粒径分布を測定し、それぞれの粒径加積曲線と微分体積曲線とを求めると、1972年型は、平均粒径 25  $\mu$  が全体の55%を占め、次いで 32  $\mu$  が43%で、両者で全体の98%に近い。また、1977年型では 32  $\mu$  が全体の75%と大半以上を占めており、粒径加積曲線も単一粒径の含有量が高いものは、その粒径では急勾配の曲線を示し、二種類混合では、その勾配もゆるやかになるなど、この曲線からも粒径別組成を知ることが出来る。

Table 1

Compositions of media for stock cultures SWM-III.

SWM-III		
Sodium Nitrate	(1.0 M)	2ml
Sodium Phosphate	(50mM)	2ml
B Na <sub>2</sub> EDTA	(15mM)	2ml
Iron Chloride	(1.0mM)	2ml
Tris(Hydroxymethyl)aminomethane		500 mg
S-3 Vitamins		2ml
A Sea water	Up to 1 liter	
C Artificial sea water(Lyman & Fleming 1949)		
S-3 Vitamins		
Thiamine HCl (B)	0.5	g
Ca pantothenate	0.1	$\mu$
Nicotinic acid	0.1	g
P-aminobenzoic acid	10	mg
Biotin	1	mg
Inositol	5	g
Folic acid	2	mg
Thymine	5	mg
B <sub>12</sub>	1	mg
Up to 2 liter		

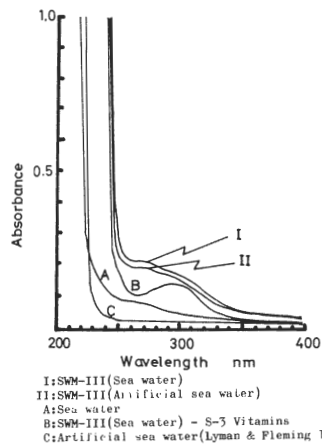


Fig. 4 UV absorption spectra of composition of media for stock culture of SWM-III.

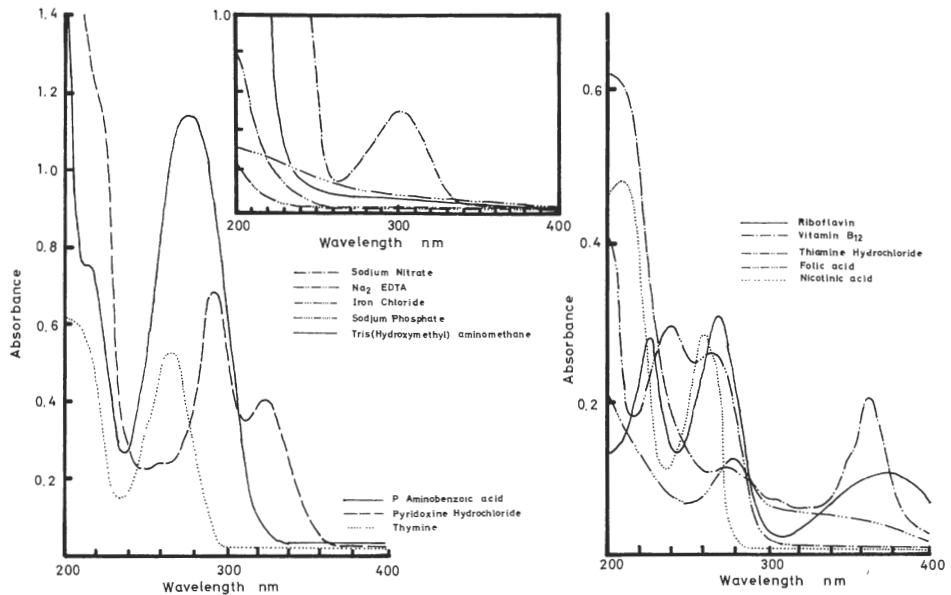


Fig. 5 UV absorption spectra of Inorganic compounds and Organic compounds in the stock culture of SWM-III.

この一連の測定時間は、1検体5～7分程度で、再現性よく、粒径別組成から優占種などの概略を知ることができる。また、海域での *Hornellia* sp. の赤潮海水も同様の結果が得られていることから、一定粒径粒子の追跡には、短時間で、再現性のよい結果が得られる利点がある。このことから、Coulter Counter 法の測定から *Hornellia* sp. の数は、粒径 25  $\mu$  と 32  $\mu$  の粒子数の総和とした。その他のプランクトンについては別紙で報告する。

#### 4・8 波長 270 nm の吸収有機物の検索

赤潮プランクトンの純粋培養に使用された培地は Table 1 に示される SWM-III である。この培地に赤潮プランクトンが接種され、繁殖された赤潮水の紫外吸収スペクトルは、すでに述べたとおりであり、260 nm 以上の波長域で著しい吸収がみられるのは、プランクトン由来の有機物によるものであって、吸収波長として 270 nm が決定された。この 270 nm に吸収を示す有機物について、培地 SWM-III の組成についての紫外吸収スペクトルの変化は Fig. 4 に示される。A で示される海水に Table 1 の B で示される物質を加えたものの紫外吸収スペクトルは、B によって示され、250 nm より短波長の吸光度は上昇するとともに、300 nm に吸収が大きくあらわれてくる。この液に S-3 Vitamins を加えると 270 nm に吸収がみられ I となる。よって 270 nm の吸光度を示すものは、S-3 Vitamins によるものであることがわかる。Table 1 の B の各々については Fig. 5 の中央に示されるように、300 nm の吸収は Nitrate-N による

ものであることがわかり、その他は 250 nm 以上の長波長域では、吸収はみられない。270 nm に吸収を示すことが、S-3 Vitamins によることが確認されたが、その各成分についてみると Fig. 5 の右、左に示されるように、300 nm より短波長域に極大の吸収がみられる。それより長波長域では、Vitamin B<sub>12</sub> および Riboflavin が吸収を示すのみである。

このような培地に、赤潮生物が移殖され、培養し、一定期間後の紫外吸収スペクトルは、前述のとおりで、270 nm に吸収を示す物質は、S-3 Vitamins にみられるような、活性を示す物質であることがわかり、吸光度の増加は赤潮生物の代謝の過程で、分泌、排泄されるためである。

また、324 nm の吸収を示す物質については、岡市<sup>8)</sup>によって研究がなされている。

#### 4・9 E<sub>270 nm</sub> と Chlorophyll a との関係

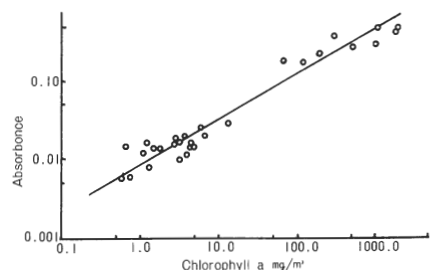


Fig. 6 Relationship between E<sub>270 nm</sub> and Chlorophyll a in Harimanada area.

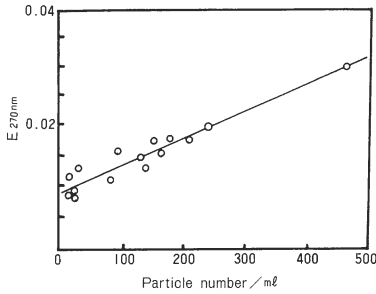


Fig. 7 Relationship between  $E_{270\text{nm}}$  and Hornellia number (Coulter counter method) in Harimanada area.

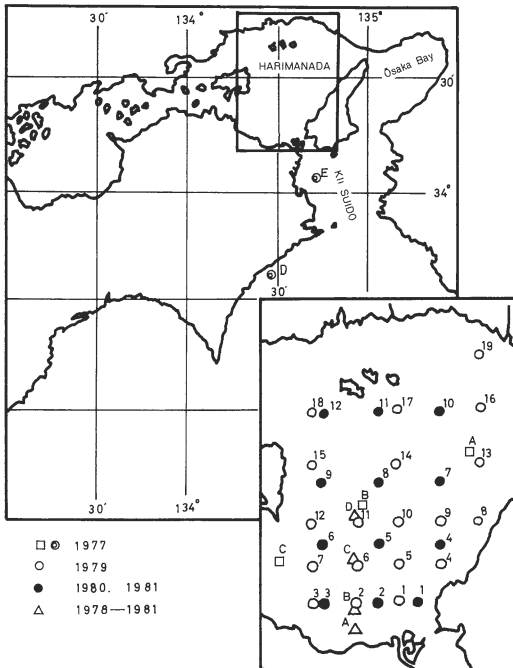


Fig. 8 Locations of observed stations in Harimanada area.

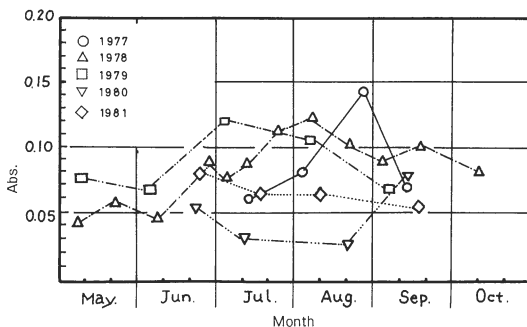


Fig. 9 Annual changes of  $E_{270\text{nm}}$  in the surface sea water at the station B.

赤潮海水および赤潮水、さらに環境水質の測定で得られた  $E_{270\text{nm}}$  と Chlorophyll a 量との関係は Fig. 6 にみられるように Chlorophyll a 量が多くなるにつれ、 $E_{270\text{nm}}$  は増加し、両者間の相関係数は 0.97 と著しく高く、1% 有意水準で、両者間に強い相関が認められた。したがって、赤潮生物あるいは植物性プランクトンによる分泌、排泄有機物の多憂を、短時間で、 $E_{270\text{nm}}$  の測定で、その高低から Chlorophyll a 量が推定される。赤潮現象の下限を Chlorophyll a 量を  $10\text{ mg/m}^3$  とすれば、 $E_{270\text{nm}}$  は 0.017 となり、赤潮の予知、環境変化の把握が可能である。

#### 4・10 $E_{270\text{nm}}$ と Hornellia sp. との関係

赤潮発生時の播磨灘海水から、 $E_{270\text{nm}}$  と Coulter Counter 法で計測した Hornellia sp. 数との関係を Fig. 7 に示したように、両者間の相関係数は 0.85 と高く、1% の有意水準で両者間に強い相関が認められ、また、顕微鏡で計測<sup>9,10</sup>されたものより、相関が高いことが認められている。

#### 4・11 播磨灘海水の紫外吸収スペクトル<sup>11</sup>

1977年から1981年において Fig. 8 に示される地点について赤潮の発生しやすい期間の5月～10月に、月1回或は2回の測定した一例をB地点についてみると Fig. 9 のようになる。

1977年8月下旬、1978年7月下旬～8月上旬、1979年は5月から吸光度が高いことから、夏期の赤潮の予測がなされたとおり、7月下旬～8月上旬で  $E_{270\text{nm}}$  が 0.085 以上を示していることがわかる。1980年は冷夏といわれたが、 $E_{270\text{nm}}$  は6月下旬で 0.055 が、7月、8月と最低を示し、9月に Gymnodinium sp. による赤潮で若干高く 0.075 となった。しかし、1981年は、気象的にも条件に恵まれたが、 $E_{270\text{nm}}$  は 0.075～0.055 の範囲で、1980年より高かった。以上のように、両年度は、活性物質が低いこと、それが、植物性プランクトンに由来されることから、発生に適した環境（海況）になっていなかったということがわかる。

## 5. 赤潮発生についての2, 3の考察

瀬戸内海の赤潮発生<sup>12</sup>の頻度は、年々増加の傾向を示し有害種赤潮 Hornellia sp. による発生が、播磨灘において昭和47年7月および8月に大発生し、水産被害をともなった。その後、今日までに計4回同種による赤潮が、同灘にみられた。一方、環境庁は、昭和47年5月から、瀬戸内海広域水質調査を実施した。調査地点、海域702に及んでいたが、現今、その地点も減少はしているものの経年的に行なわれている。著者が当初から、この調査に参加していることから、播磨灘の有害種赤潮発生原因

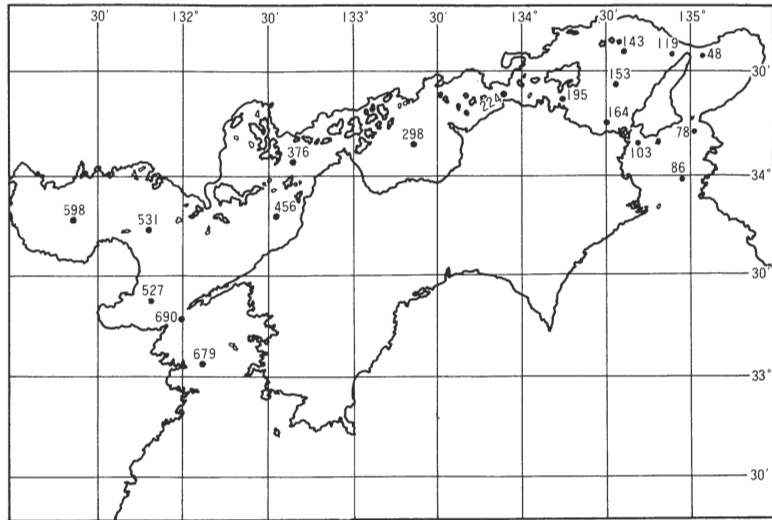


Fig. 10 Locations of observed station in Setonaikai area.

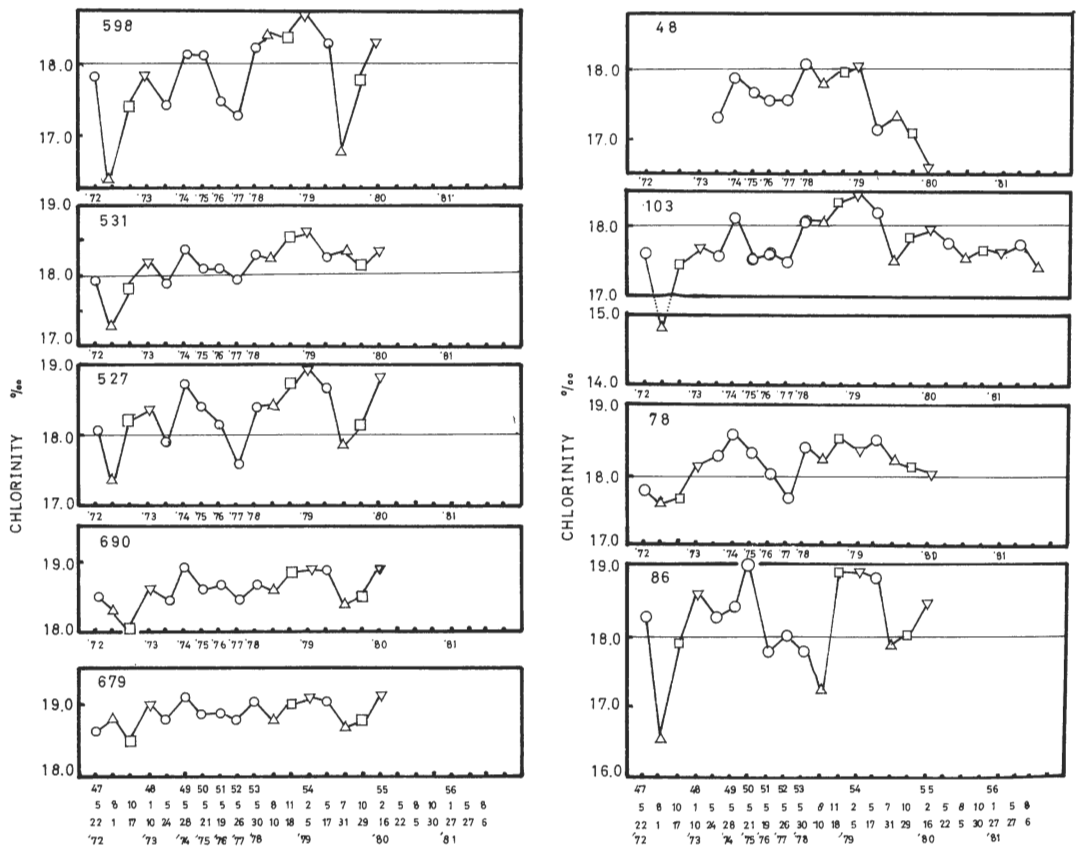


Fig. 11-1 Seasonal changes of Chlorinity at each station in Setonaikai area.

○ : May △ : Jul. or Aug. □ : Oct. or Nov. ▽ : Jan. or Feb.

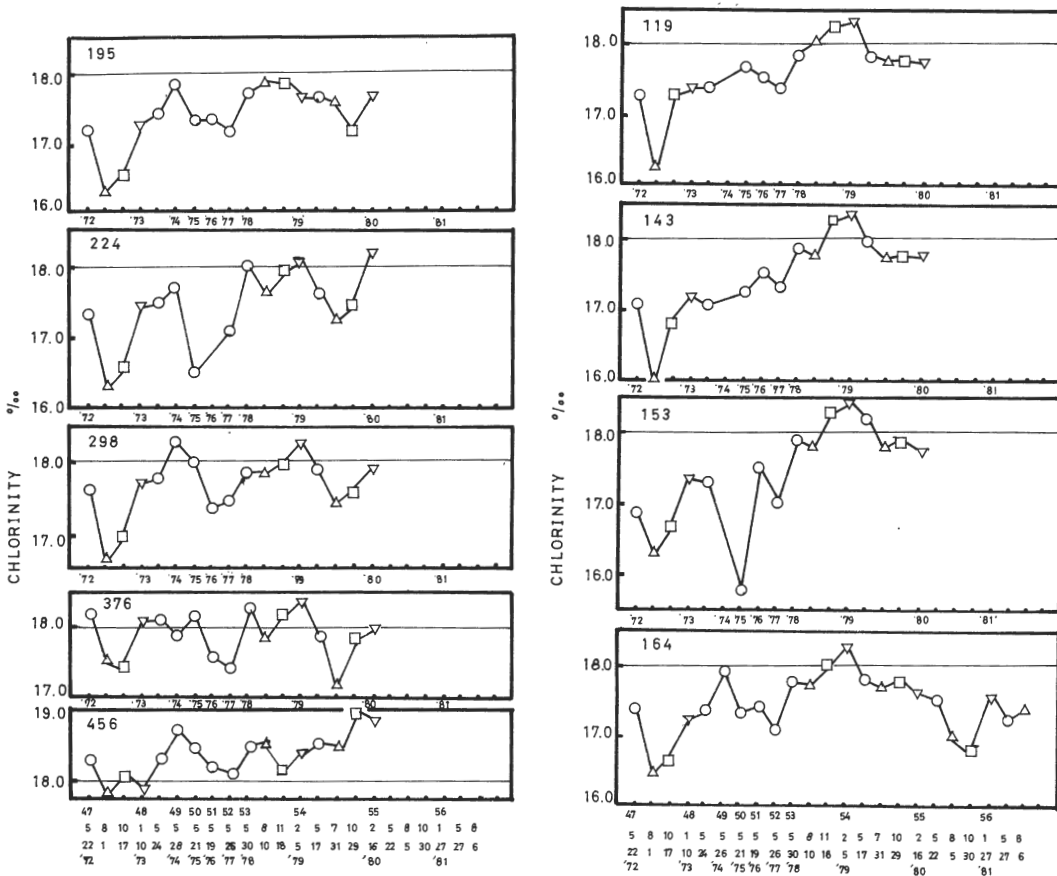


Fig. 11-2 Seasonal changes of Chlorinity at each station in Setonaikai sea area.

○ : May △ : Jul. or Aug. □ : Oct. or Nov. ▽ : Jan. or Feb.

を究明する目的で、昭和53年から調査研究を開始し、その結果と、環境庁で公表されたデータ集<sup>13-15)</sup>により、海況の変化と、生物指標の一つとしてのT-P、さらに、徳島水試の公表資料とから、赤潮発生について考察し、黒潮流軸<sup>16)</sup>の挙動との関係まで言及する。

### 5・1 瀬戸内海での播磨灘の特性

瀬戸内海は、紀伊水道、豊後水道からの外海水の流入と、関門海峡、大阪湾、明石海峡とからの海水の流出入がみられており、臨海工業地帯から排水、あるいは、河川水の流入によって、汚濁負荷量も高くなり、現今では富栄養化となり、その対策が望まれているが、赤潮現象は、それが原因とされている。

播磨灘の特性について、瀬戸内海広域水質調査が経年的に行なわれている。灘を代表する点を選定するとFig. 10のとおりで、これらの地点の塩素量とT-PについてみるとFig. 11, Fig. 12である。

豊後水道および紀伊水道は、黒潮流軸の変動によって、その影響を、強く受ける海域であって、本土に向っての

黒潮の北上流動によって、豊後水道は影響を受ける。

毎年5月における豊後水道では、18.5%以上で経年的に漸増の傾向を示し19%台となる。速吸水道では、若干塩素量の低下があるが、その分布パターンは前者と類似していることがわかる。一方、紀伊水道では、四国沖合の黒潮の流動変化にもよるが、概して黒潮の分派流によるものが多いと推察され、経年的に塩素量は漸増傾向を示し、1975年に最高の19%をみる。1976年~1978年は約18%、1979年には18.9%となる。分派流の流入方向および強弱によって異なった塩素量を示すことは勿論のことであるが、西部側103では1974年、1978年、1980年が18.0~18.2%と他の年度の17.5~17.7%より高い。この海域は、陸水の影響を受ける海域である。鳴門海峡を経て、播磨灘に入ると、その南部海域では、1974年が最高の約17.9%で、最低が1977年の17.1%となっているが、1979年にかけて、塩素量は漸増の傾向で、それ以後は減少の傾向がみられる。中央海域では、最低が1975年に15.8%であるがその他では増加の傾向で、最高が1980年の

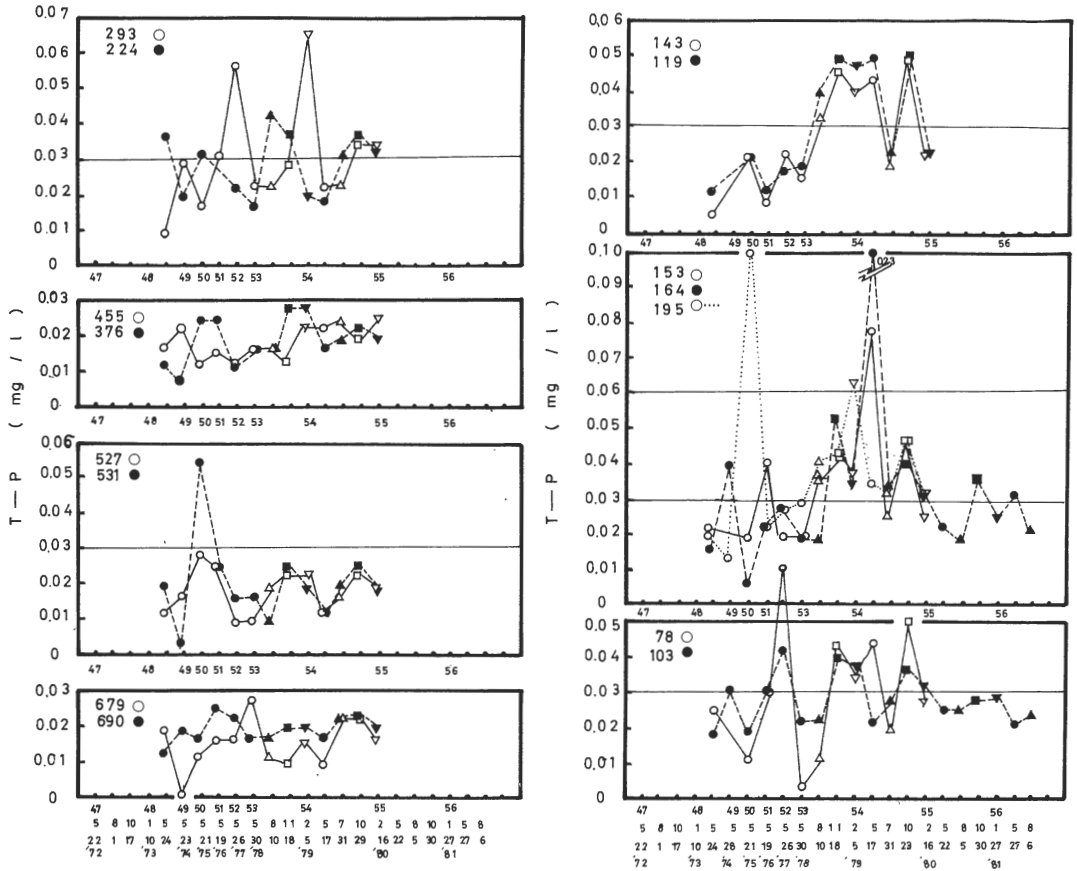


Fig. 12 Seasonal changes of Total-Phosphorus for the surface waters at each station in Setonaikai sea area.  
 ○ : May. △ : Jul. or Aug. □ : Oct. or Nov. ▽ : Jan. or Feb.

18.2%を示している。北部海域では、明石海峡に近い地点と分布が類似しており、総体的には増加の傾向であるが、塩素量は18%以下である。瀬戸内海西部の周防灘531では、約17.9%以上の塩素量で、最高は1974年18.3%がみられるにしても、漸増傾向を示している。伊予灘456においても同様で、最高は1974年18.8%である。燧灘では、分布傾向は前者と類似しているものの塩素量は若干低くなり、18%以上が1974年、1975年で最高は1974年である。備讃瀬戸224では、さらに、低塩素化し、播磨灘西南部195では18%以下となり、1974年が最高である。

播磨灘南部は、播磨灘西南部のパターンと非常に類似していることがわかる。このように、両水道から流入した外海水は、それぞれの灘を流動するにつれ、地域的影響を強く受けていることも忘れてはいけない。

季節的变化については、現在まで3回の測定がなされているが、1972年は最低の塩素量を示しているのに反し

て、1978年においては最高で、特に1979年2月が最高である。次いで1980年となるが、季節的变化差が大きい

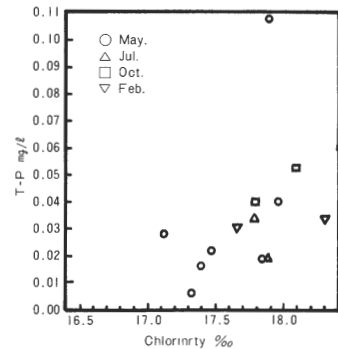


Fig. 13 Relationship between Total-Phosphorus and Chlorinity at the station number 164.  
 ○ : May. △ : Jul. or Aug. □ : Oct. or Nov. ▽ : Jan. or Feb.



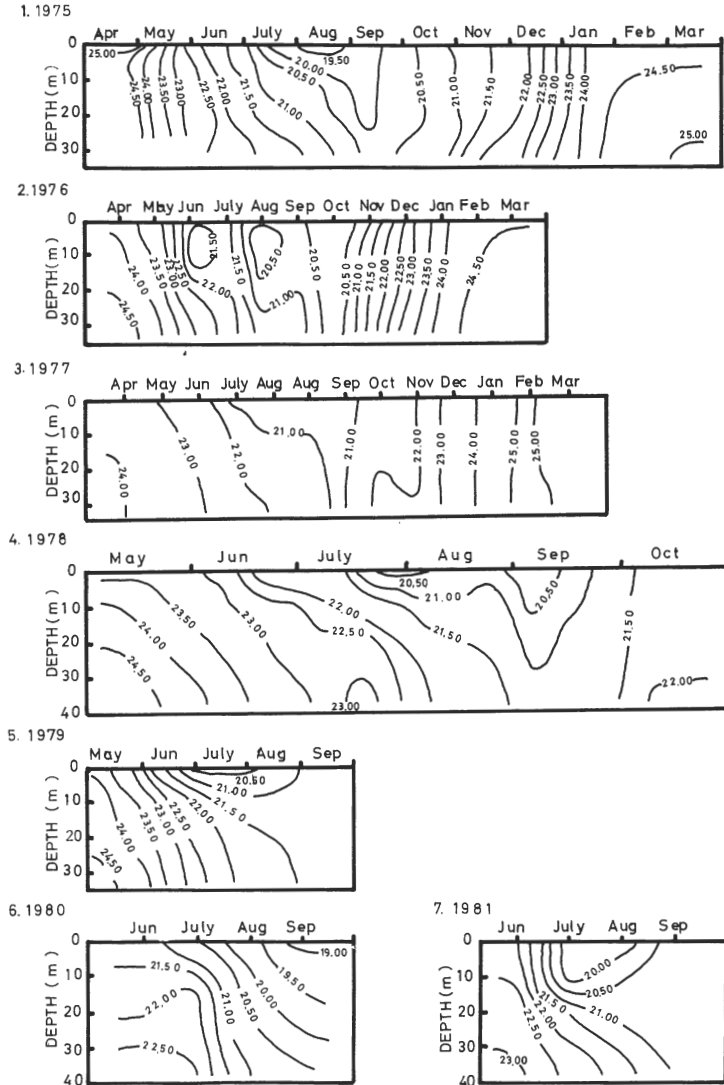


Fig. 14 Seasonal changes of Sigma t of vertical distribution from 1975 to 1981 at the station B.

は1972年、次いで1978年となり、1979年は播磨灘においては較差が少なくその他では較差がみられている特性がある。

T-Pの5月の経年変化において、瀬戸内海西部は1975年、1976年に高濃度がみられるのは、速吸水道、周防灘、伊予灘、備讃瀬戸等であり、1977年に最高値が燧灘、1978年には豊後水道となる。豊後水道から備讃瀬戸にかけて0.03 ppm以上が周防灘、燧灘である。一方、紀伊水道では1977年に最高値で0.03 ppm以上を示し、播磨灘では、中部海域で1976年、1979年、南部海域で1974年、1979年、1981年、西南部海域で1975年、1979年と0.03

ppm以上がみられる。最高が南部海域で1979年0.11 ppmとなり、1975年0.10 ppm、1979年0.08 ppmと高い。しかし、北部海域では1979年は0.04~0.05 ppmの範囲であるが、その他では0.03 ppm以下である。このように、T-Pについてみたが、含有値から推察すれば、紀伊水道は燧灘に相当し、播磨灘では、それ以上の含有値であることから、瀬戸内海東部海域が相対的に、特に播磨灘については、植物性プランクトンの繁殖に適した環境条件にあるといえよう。

塩素量とT-Pの分布を播磨灘南部海域164についてみると Fig. 13のように、塩素量が高くなるにつれて、

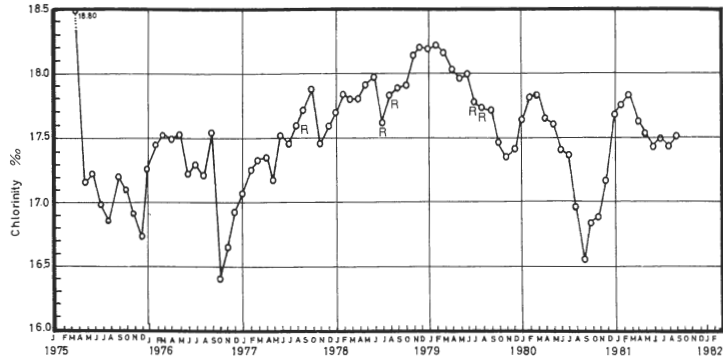


Fig. 15 Seasonal changes of Chlorinity in the surface water from 1975 to 1981 at the station B.

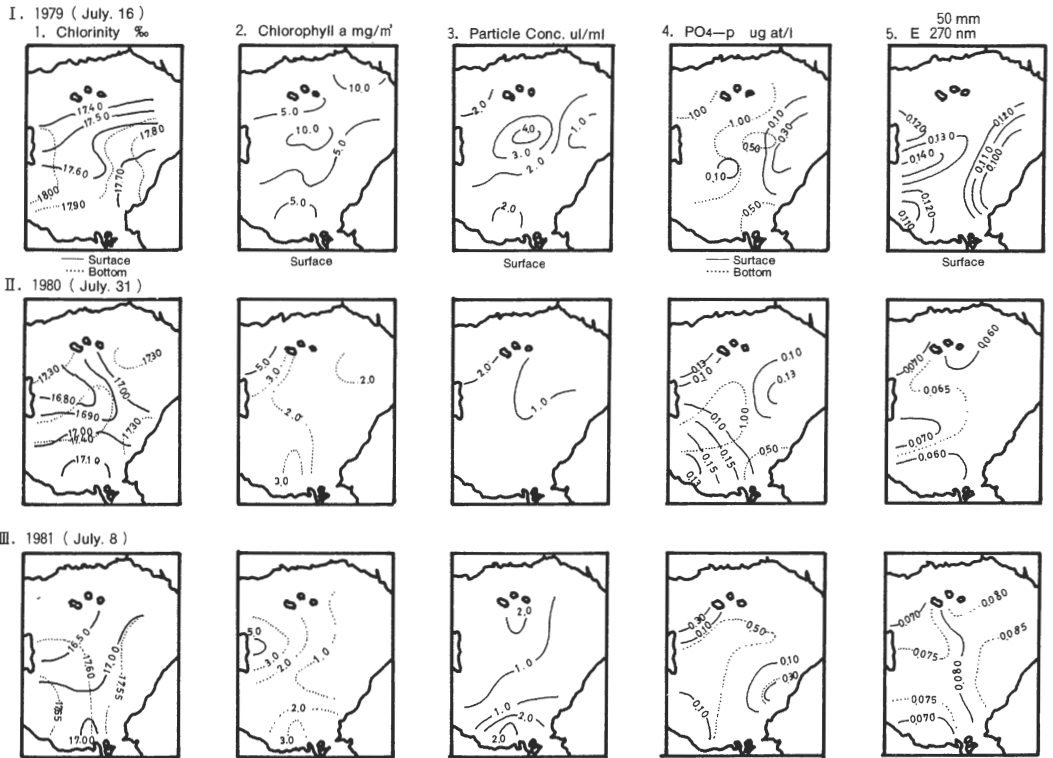


Fig. 16 Horizontal distribution of Chemical elements in Harimanada area.

T-Pは高くなる傾向が認められた。これは、紀伊水道、大阪湾、備讃瀬戸などからの海水の流出入による特性のためであろう。

### 5・2 播磨灘の赤潮発生と海況

播磨灘の赤潮発生時の海況は、昭和50年以降、定点観測を実施し、灘全般について数回行った地点は Fig. 8 に示されるものであるが、定点Bにおける現場密度の年度別、垂直的季節変化は Fig. 14 のとおりである。この

図からわかるように、現場密度21.00の等密度線についてみると、赤潮発生時期は、垂直勾配が大きく、10 m層にみられ、発生をみない時期は、それより水深が深いところにみられている。このように密度の高い海水が上層部までみられるときに、発生している特性がある。このことは Fig. 15 に示される。塩素量の季節的変化でもわかるように、夏季に17.6%~17.8%の範囲内に *Hornellia* sp. の発生をみており、概して高塩素量時である

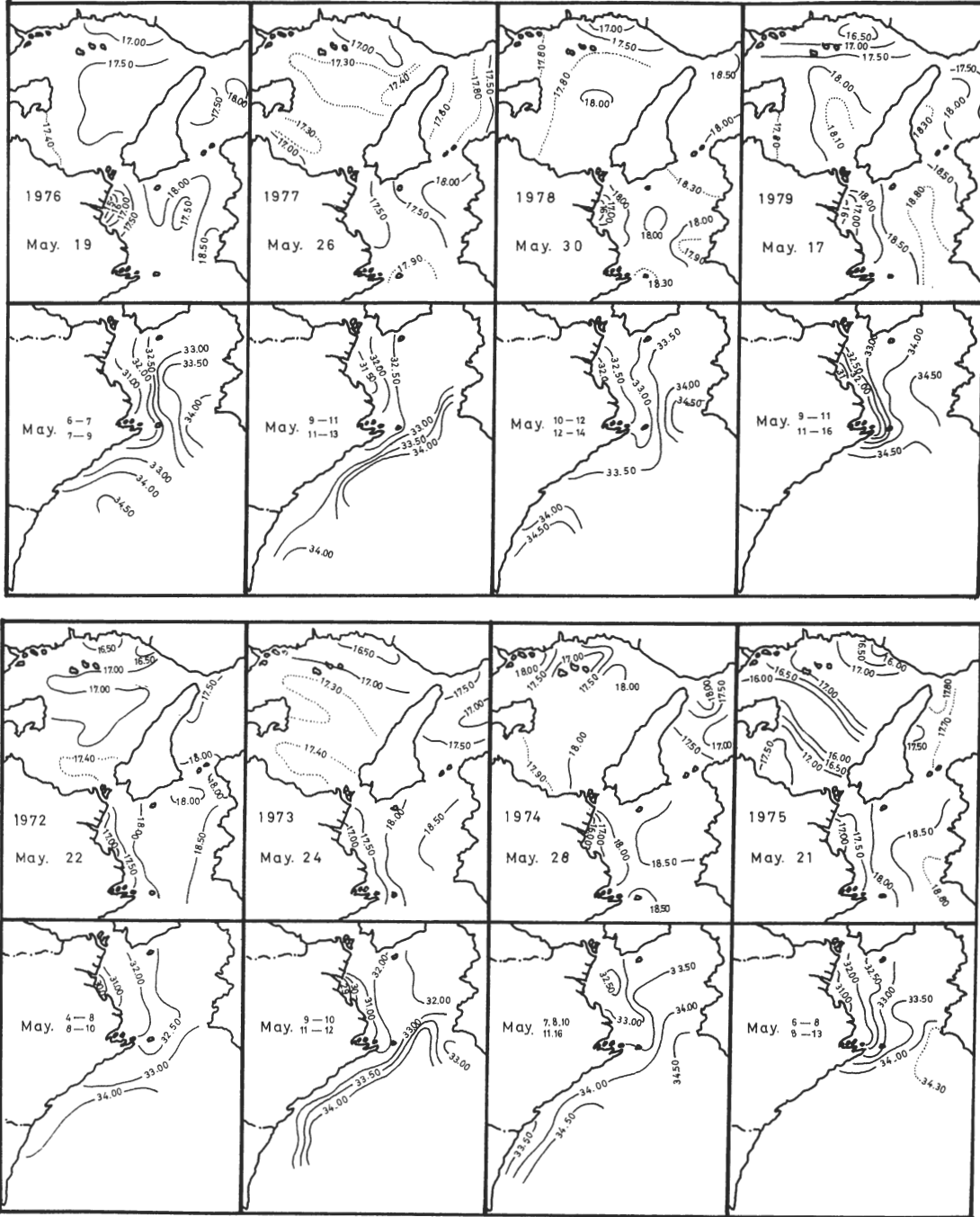


Fig. 17 Horizontal distribution of Chlorinity and Salinity in surface water in May from 1972 to 1980.

ことからもうなづかれる。塩素量の変化は、1976年10月が低塩素量、その後漸増し、1979年1月前後に最高の8.2%となり、その後、漸減し、1980年9月に低塩素量となる。Fig. 15には記入していないが、1972年8月の低

塩素量、1975年4月高塩素量が見られていることを考え合せると、4年周期のように思われる。このような高塩素量でT-Pの高い海水は、調査した範囲での考察であるが、灘全体の塩素量、PO<sub>4</sub>-Pの分布をFig. 16に示

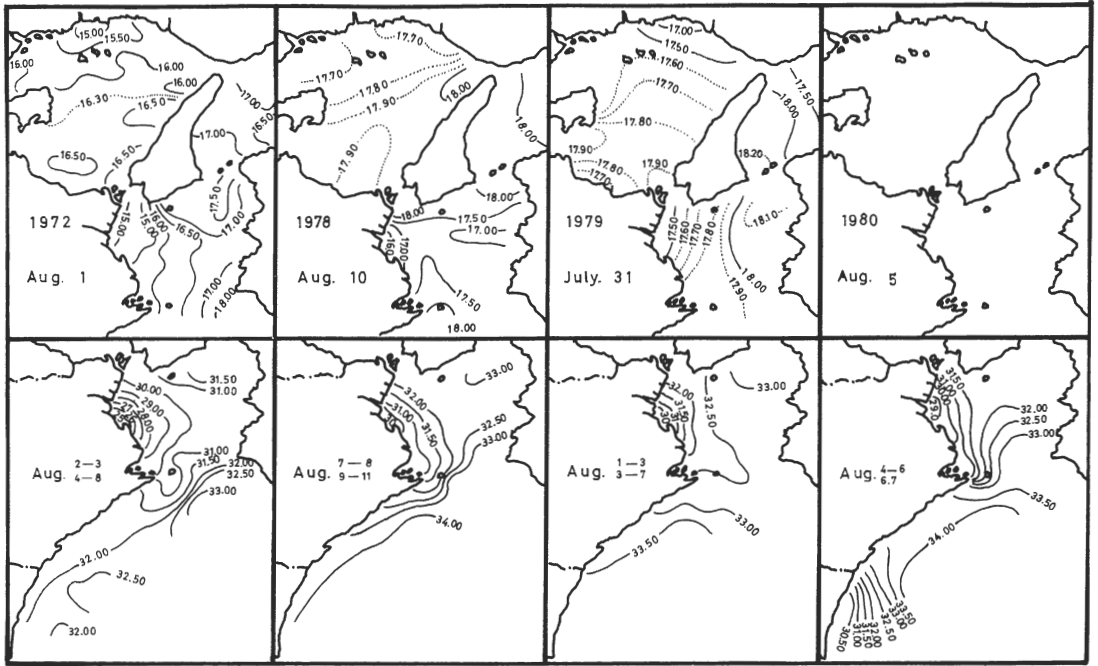


Fig. 18 Horizontal distribution of Chlorinity and Salinity in the surface water in August or July at Harimanada area and Kii channel of 1972, 1978, 1979 and 1980.

したように、高塩素量で  $\text{PO}_4\text{-P}$  の高い海水は、底層に灘の西部から西南部にみられており、この影響が灘に大きく影響を及ぼしていると推察される。

### 5・3 播磨灘、紀伊水道の海況

播磨灘および紀伊水道の表層における塩素量または塩分量の変化を Fig. 17 に示した。上段は環境庁広域水質調査データ集より、下段は徳島水試の漁況と海況の資料より求めたものである。

1972年、播磨灘では、北部が低鹹で、中央部が広範囲にやや高鹹となり、南部は高鹹で、鳴門海峡からの流入が推察される。紀伊水道では東部が高鹹、西部が低鹹である。

1973年、前年度と同様の傾向はあるが、中央が0.4%程度高鹹である。紀伊水道では、東部から西部への高鹹水の張り出しがみられる。

1974年、播磨灘では高鹹水が局部的にみられ、中央部が欠測のため、全体的な分布はわからない。紀伊水道では18.5%以上が東部から西部にかけ、前年度よりその張り出しが大きいのと、伊島から北方への流入も見受けられる。下段では紀伊水道口から海部沿岸に高鹹で、外海水の影響が強い。

1975年、播磨灘では前年度より低鹹で、特に灘中央が低いのが目立つ。紀伊水道では、西南部からの外海水の流入が北西方位に、下段では、前年度より、その勢力が

強く、西部は著しく停滞型の海況となる。

1976年、播磨灘では、北部が低鹹で、高鹹域は、明石海峡沖合から灘中央にみられる。紀伊水道では西部が著しく低鹹となる。高鹹域は東南部沖合にみられ、前年度より著しく異なった海況となる。

1977年、播磨灘は前年度と同様に明石海峡から小豆島北部への高鹹域が目立っている。紀伊水道では、東部が高いが、伊島付近に17.9%の高鹹域がある。下段では、前年度と逆の傾向で、東南部から紀伊水道口一帯と高鹹域である。

1978年、播磨灘中央部が高鹹、紀伊水道も同様に、西南部から中央部が高鹹域となる。下段でも明らかのように、東南部からの外海水の勢力が強く、特異的な海況である。

1979年、播磨灘では鳴門海峡からの高鹹水の流入が全体的にみられ、紀伊水道では、両者の外海水の勢力が最も強い年であり、著しく異なった海況を呈している。

以上のように、5月の海況を7年間みても、大いに年度によって異なることがわかる。

赤潮の発生している8月の分布は Fig. 18 に示した。

1972年、播磨灘・紀伊水道とも低鹹であるが、播磨灘の中南部が、塩素量の較差が少なくほぼ同一的な様相を呈し、鳴門海峡からの流入、紀伊水道では、東南部から西南部への流入等がみられている。

1978年, 播磨灘では, 高鹹が明石海峡から舌状に18%以上の流入があるが, 灘全体は17.7~17.9%で, ほぼ均一的な様相である。紀伊水道では, 西南部より北上流があり, 閉塞的な様相である。

1979年, 播磨灘南部が高鹹で鳴門海峡からの流入があり, 中央部は17.7~17.8%とほぼ均一的な様相を呈している。紀伊水道においては, 海部沿岸からの北上流によって西部沿岸水は東部に張り出しているのがわかる。

#### 5・4 瀬戸内海の海況に及ぼす黒潮流軸の変化について

瀬戸内海広域水質調査, 徳島水試の調査日が, それぞれ異なっており, かつ, 海上保安庁水路部の調査日も異なり, できる限り三者がほぼ同時期に行なわれているのは少なく, 瀬戸内海の海況を, 黒潮流軸の挙動から推察することに問題点はあるが, 傾向把握をするには現段階で止むを得ないと考える。早急に, RANSAT あるいは, NOAA などの衛星で, 広域を同時に観測された資料から, これらが1日も早く把握出来るようになれば, 著し

く海況把握に役立つものと期待するものである。

5月の調査で, 播磨灘では1972年, 1973年, 1974年, 1978年, 1979年には紀伊水道から, 1976年, 1977年は明石海峡からの影響が見受けられる。

四国南方沖合の黒潮流軸の変動形態は Fig. 19 に示され次の様に分類した。

1. 四国沖合平行流動型 1974年, 1972年, 1973年
2. 室戸岬に北上流動型 1975年, 1980年
3. 室戸岬沖合付近で蛇行流動型 1976年, 1977年, 1979年, 1978年

1974年が最も接岸しこの関係で, 瀬戸内海全般が高塩素量を示したが, 紀伊水道では1975年に黒潮流軸は室戸岬に向っての北上流のためによるものと思われる。

紀伊水道にたいして, 外海水の流入経路によって, 大阪湾, 播磨灘に影響を及ぼすため, 垂直的な解析は必要である。明石海峡からの播磨灘への流入が見られるのは室戸岬沖合で蛇行流動型時にみられており, 蛇行時の分派流の流動によるものであろう。しかし, 蛇行後の北上

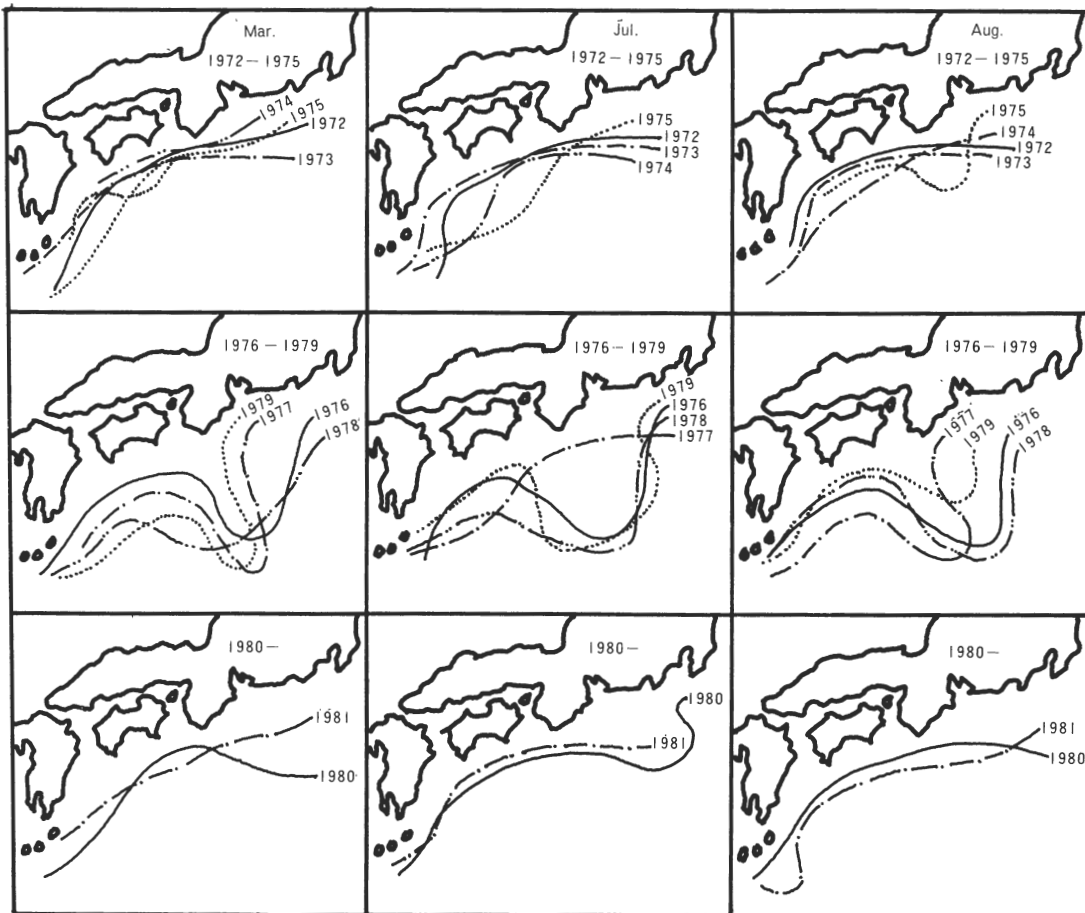


Fig. 19 Behavior of the Black Currents in May July and August from 1972 to 1981.

流動が最も潮岬に接岸しているのが1974年で、紀伊水道の海況も異なっていることがわかる。

1972年、1978年および1979年の8月では、最も黒潮が接岸したのは1972年で紀州寄りからの分派流が考えられ、1978年では室戸沖合で1979年より沖合で蛇行していることから、蛇行時の離岸と場所とによって、1978年は海部沿岸沿いの分派流で、それよりも潮岬沖合での蛇行である1979年は紀州寄りの方が勢力が強いと推察される。

以上のように黒潮流軸の挙動から、紀伊水道などの海況の推測は可能で、著者は、紀伊水道の基本海況<sup>10</sup>とからの異常海況と黒潮流軸との関係から、赤潮の発生しやすい海況を見い出している。赤潮の発生するか、しないかの最大の要因は、海況によって左右されることが判明したが、海況の変化と植物性プランクトンの生理との関係は未解決な点が多い。その解決として、海水の紫外吸収スペクトルを取り上げ、海況の変化によって発生時に活性物質が多く、発生をみない場合は少なくないという関係を見い出され、活性物質の役割も大きいと思われるが、さらに詳細なる調査研究が必要であろう。

## 6. 要 約

**6・1 赤潮の発生原因の究明の一環として、海水の紫外吸収スペクトルについて研究を行なった結果を要約すると次のとおりである。**

**6・1・1** 海水の紫外吸収スペクトルは、250 nm以下の短波長域に強い吸収があり、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ などによるものである。250 nm以上の長波長域では、270 nmにゆるやかな吸収がみられる特性のあるスペクトルが得られた。この270 nmの吸光度は、外海水では小さく、紀伊水道、播磨灘と内海に進むにつれて大きくなる。

**6・1・2** 赤潮海水および赤潮水は、その変化が顕著にみられ、270 nm付近と320~330 nmに吸収極大を示すものと、ゆるやかな吸収を示すものとが確認され、このパターンはプランクトン種の異いによる変化は認められなかった。自然海水では270 nm付近の吸収が320 nm~330 nmの吸収より顕著に出現する。これらの吸収帯は、一次微分スペクトルによって前者は270 nmに、後者は324 nmと決定された。

**6・1・3** これらの波長に対して、無機イオンの影響は、250 nm以上の長波長域ではまったくみられない。270 nmの吸収物質はVitamins  $\text{B}_{12}$ 、Thiamine HClおよびThymineなどの生物に対しての活性物質によるもので、この物質群は、植物性プランクトン由来のものであることが判明した。一部天然海水中のBacteriaによ

る生産も含むものと思われる。

**6・1・4**  $E_{270 \text{ nm}}(1-4, E_{270 \text{ nm}})$ とChlorophyll a量およびHornellia数には、1%有意水準で、高い相関が認められ、 $E_{270 \text{ nm}}$ からChlorophyll a量の推定も可能である。

1-5、播磨灘の環境水質について $E_{270 \text{ nm}}$ を測定し、赤潮発生とに関し詳細なる資料が得られ、赤潮発生の過程および発生の予知が可能であることがわかった。

**6・2 播磨灘の赤潮発生原因の究明として、1975年以降調査研究を重ねて来たが、環境庁水質保全局によって、広域総合水質調査(瀬戸内海I, II)のデータ集が公表されたのを機会に、徳島水試の漁況と海況の公表データなどをもとにして、播磨灘の海況について、紀伊水道から、黒潮流軸との関係を検討した結果を要約すると次のとおりである。**

**6・2・1** 播磨灘において赤潮の発生している時の海況は、現場密度21.00の等密度線の垂直勾配が大きく10 m層にみられ、発生を見ない年度においては小さいことがわかり、高密度海水の存在が大きな要因であると推定された。一方、活性物質も前者が $E_{270 \text{ nm}}$ が高いことからもうかがわれる。

**6・2・2** Hornellia sp.の発生では、塩素量17.5~17.8%の範囲で発生をみており、播磨灘では1972年の低塩素量から経年変化で推察すれば、4年周期の様相を呈し、夏期の塩素量が、高塩素量時にみられている特性がわかる。

**6・2・3** 高塩素量時にT-P値の高い傾向がみられ、赤潮発生と関連していることが知られる。この由来は、備讃瀬戸からの補給が主体と思われるが、鳴門海峡、明石海峡とからの高塩素量水の流入もあり、年度によってその勢力も異なり、紀伊水道の海況に左右され、両者の寄与が播磨灘の海況を左右するものと思われる。

**6・2・4** 紀伊水道の海況は、沖合の黒潮流軸の変動に影響を受けることが大きく、接岸、離岸傾向、蛇行傾向などの流動方向によって、紀伊水道に異常海況を呈し沿岸域で赤潮の発生となる。

**6・2・5** 赤潮の発生しやすい海況時の植物性プランクトンの生理、物質収支、海洋構造などが詳細に調査研究なされれば、その原因の解明がなされるものと考えられる。

瀬戸内海から黒潮の流動まで、短時間に一斉観測ができれば、その解析によって全般的な海況が把握される。

その手法として、RANSDATあるいはNOAAなどの衛星データの解析が急務であると思われる。

なお、海水の紫外吸収スペクトルについては、1978年度日本海洋学会春季大会、第5回環境保全公害防止研究

発表会(1979年12月)に発表し、本論の概要は、第8回環境保全公害防止研究発表会(1981年12月)に発表した。

### 謝 辞

播磨灘の調査研究に当り、ご協力くださった当センター職員各位に御礼申し上げます。純粋培養されたプラントを譲与された徳島県水産試験場吉田正雄氏に感謝します。

### 一引用文献一

- 1) 岡本 勝：赤潮研究の最近の動向，公害と対策，Vol. 17, No. 11, p. 14~40 (1982).
- 2) 小黒美樹：赤潮に関連した海水の紫外吸収スペクトルに関する研究，季刊環境研究，25, p. 100~112 (1979).
- 3) 小倉紀雄：天然水および汚濁水の紫外吸収スペクトル，溶存有機物含量の指標として，I. 紫外吸光物質の本質，水処理技術，Vol. 16, p. 317~322 (1975).
- 4) 小倉紀雄：天然水および汚濁水の紫外吸収スペクトル，溶存有機物含量の指標として，II. 有機物濃度の指標として用いられた研究例，水処理技術，Vol. 16, p. 415~425 (1975).
- 5) 小倉紀雄：天然水の紫外吸収スペクトル，日化，86, p. 78~81 (1965).
- 6) 小倉紀雄：天然水の紫外吸光度と水質因子との関係，日化，86, p. 82~84 (1965).
- 7) 小黒美樹：淡水赤潮に関する研究(第4報)，那賀川における懸濁物質の粒径分布と紫外吸収スペクトルについて，徳島公セ年報，No. 6, p. 89~95 (1980).
- 8) 岡市友利：海洋環境保全の基礎的研究，海洋環境における生物過程の基礎的研究，文部省指定研究(1)，p. 33~38 (1978年3月).
- 9) 小黒美樹：紀伊水道における赤潮発生時の海中懸濁物質の粒径分布，徳島公セ年報，No. 5, p. 44~52 (1979).
- 10) 小黒美樹：紀伊水道における赤潮発生時の環境水質の紫外吸収スペクトルについて，徳島公セ年報，No. 5, p. 53~59 (1979).
- 11) 小黒美樹，竹田正裕：播磨灘の環境水質について(第1報)，徳島公セ年報，No. 6, p. 71~81 (1980).
- 12) 瀬戸内海環境保全協会：瀬戸内海の環境保全，資料集，51~61 (1981).
- 13) 環境庁水質保全局：昭和47年度，瀬戸内海水質汚濁総合調査データ集(その1)，p. 1~219 (1973年2月).
- 14) 環境庁水質保全局：広域総合水質調査(瀬戸内海I)データ集(1981年2月).
- 15) 環境庁水質保全局：広域総合水質調査(瀬戸内海II)データ集(1981年2月).
- 16) 海上保安庁水路部：海洋速報，1972~1981.
- 17) 小黒美樹：赤潮発生予知とリモートセンシングについて，徳島公セ年報，No. 7, p. 93~105 (1982). 印刷中.