

# 浦の内湾の海洋環境に関する研究

## I. 1982年および1983年の海況と赤潮プランクトンの消長

宗 景 志 浩  
(農学部水産土木学研究室)

### Studies on the Physical Oceanographic Environment in Uranouchi Bay

#### I. Structure of Water Mass and Multiplication of Red Tide Plankton

Yukihiro MUNEKAGE

*Laboratory of Fisheries Engineering, Faculty of Agriculture*

**Abstract** An oceanographic survey was carried out on water temperature, salinity, dissolved oxygen, transparency, nutrient salts, and numbers and kinds of plankton at six observation stations in Uranouchi Bay from spring to autumn in 1982 and 1983.

The relationship between the structures of water mass and the multiplication of red tide plankton in Uranouchi Bay were analyzed.

Heavy rainfall about the middle of July 1982 covered the surface of the bay with low salinity water. This condition continued until the end of September. The strong stratification of salinity and density resulted in the constant outflow currents occurring through the surface layers of the bay. However during early July and October of 1982, and from July to September of 1983, low rainfall produced weak stratification and low constant outflow through the surface.

In Uranouchi Bay, the strength and the duration of the drop in salinity based on rainfall can be estimated by the height and the width of the crest of the profiles of 20 days-integrated rainfall.

The multiplication of plankton and red tide occurred during the periods of weak stratification of the water mass, and just in the troughs of the curves of 20 days-integrated rainfall. These data suggest that the tidal exchange period of this bay is about 20 days. Further investigation is in progress.

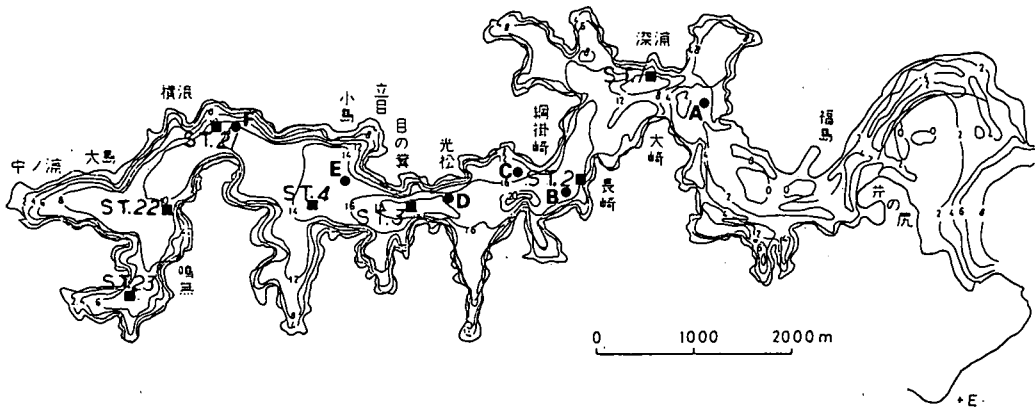


Fig. 1. Location of sampling station and depth contours (m) of Uranouchi Bay.

## 結 言

浦の内湾に関する海洋学的な調査と研究には多くの蓄積がある<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup>。これらの報告によれば、ハマチの小割養殖が深浦および宇佐地区で行われるようになった1960年以後、プランクトンの組成、数量、増殖の規則性などの点で徐々に変化が生じ、浦の内湾がより内湾型に近づいたことが指摘されている。当時と比較し、ハマチ、真珠などの養殖は縮小されているものの、現在もなお湾中央部の光松付近では、ハマチを主体とした養殖が行われており、浦の内湾の内湾化、富栄養化はさらに進んでいる。そして、春から秋にかけてしばしば発生する赤潮の中にはきわめて有害なプランクトンによるものもあり、魚貝類に対する被害の発生する場合もみられる。

1982年および1983年の5月～11月における水質、栄養塩ならびにプランクトン組成に関する資料<sup>6), 7)</sup>を得たので、本報告ではこれらの資料の他に雨量、日射量などのデータを加えて再整理し、浦の内湾の海洋環境と赤潮プランクトンの消長との関連性についての考察を行った。

## 観 測 内 容

水温、塩分、透明度、溶存酸素、栄養塩、採水プランクトン(数量と組成)などは、高知県水産試験場が赤潮予察事業として観測している資料のうち、1982年および1983年のものを用いた<sup>6), 7)</sup>。この観測は5月～11月の間、Fig. 1 に示す ST. A～F の6点で毎月2回、水深 0 m, 2 m, 5 m, 10 m, 底上の5層について行われている。

潮流と密度構造をみるため、1982年8月18日および1983年8月26日に、Fig. 1 に示す ST. 1～4, ST. 21～23 の7点で、水温、塩分、流向・流速に関する1潮汐観測を行った。この他に、雨量、日射量については高知気象台による高知市のデータを用いた。

## 結 果

湾内中央部の ST. C における水温、塩分、密度と高知市における降雨量、日射量の季節的変化を1982年と1983年について比較し、Fig. 2～4 に示した。以下にこれらの環境要因の概要を述べることにする。

### 1. 水 温 (Fig. 2. 上段)

① 6～7月の降雨期には、例年湾内水温の低下がみられるが、梅雨明けと共に再び急激な表層水温の上昇が起り、徐々に水温成層が形成される。

② 1983年度は、梅雨期における2m以深の水温低下が小さく、例年より半月程度早いピッチで水温上昇が起り、かつ7～8月の水温は前年に比較し1～1.5℃程度高温であった。

③ 表層と底層における水温差の最大は、例年8月上旬～下旬に生じるが、1983年度は8月上旬に生じ、表層での高水温が約1ヶ月の長期にわたって維持された。

### 2. 塩 分 (Fig. 2. 中段)

① 1982年度は5～6月の梅雨期前に全層一様に高塩分化するが、7月中旬の豪雨の後、8月末頃まで低塩分化が進み、9月初旬から再び高塩分化が始まる。

② 1983年度は6月～9月の降雨が少なく、夏期の塩分低下がきわめて小さい。上下層ともほぼ

一様な高塩分状態が維持され、9月下旬まで徐々に塩分の上昇が続いた。

3. 密度 (Fig. 2. 下段)

① 表層部の密度は、塩分と同様に降雨の影響を強く受けるため、塩分と類似した季節変化をもつ。降雨の多かった1982年度は7月～9月の間、特に表層水の低密度化が強い。

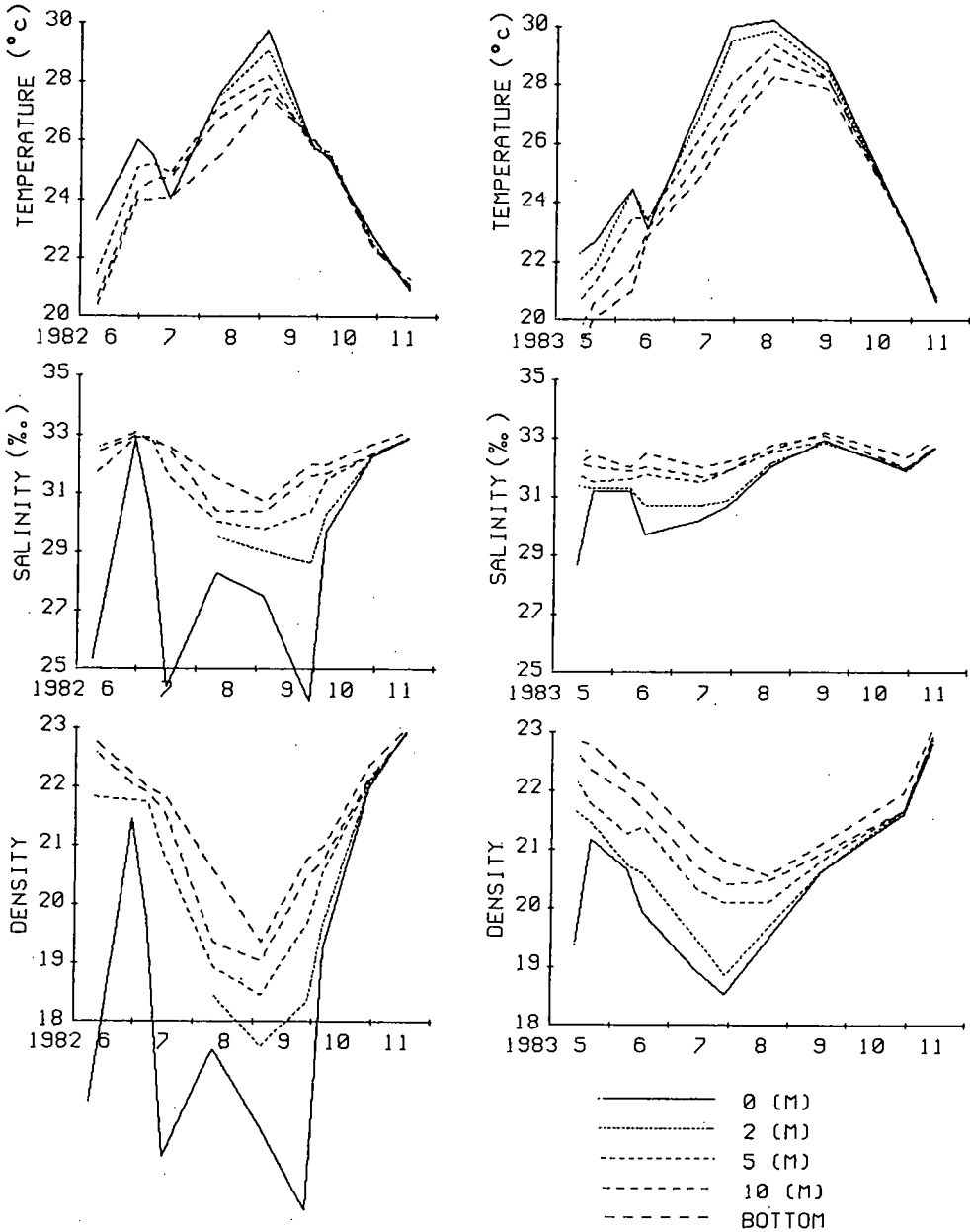


Fig. 2. Seasonal changes of temperature, salinity, and density at ST.C (6), (7).

② 中層～下層における8月の密度低下は高密度期と比較し、1983年度  $2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$  程度であったものの、1982年度は、 $4 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$  程度もあり、降雨の影響の著しいことが指摘される。

#### 4. 降雨量と日射量 (Fig. 3, 4)

1982年および1983年の高知市内における降雨量と日射量の季節変化を Fig. 3～Fig. 4 に示した。

① 4月～11月の間の月平均降雨量は、1982年度 266 mm、1983年度は 199 mm であった。この値を1964年～1968年の同時期の平均値<sup>3)</sup> 274 mm と比較すると、1982年度がほぼ同程度であるのに反し、1983年度の降雨量のきわめて少ないことが特徴的である。

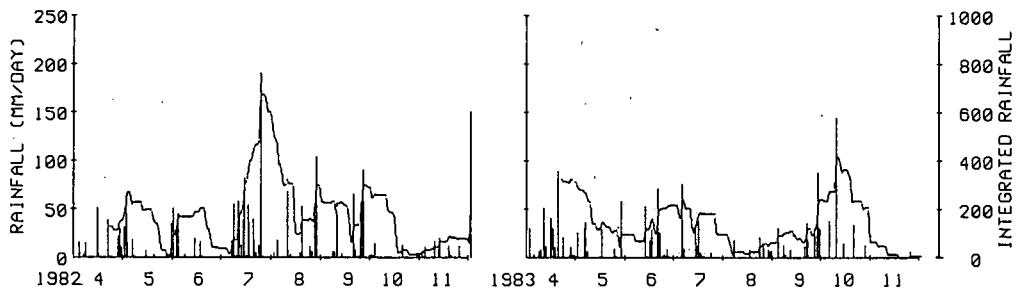


Fig. 3. Seasonal changes of rainfall per day and 20 days-integrated rainfall in Kochi City.

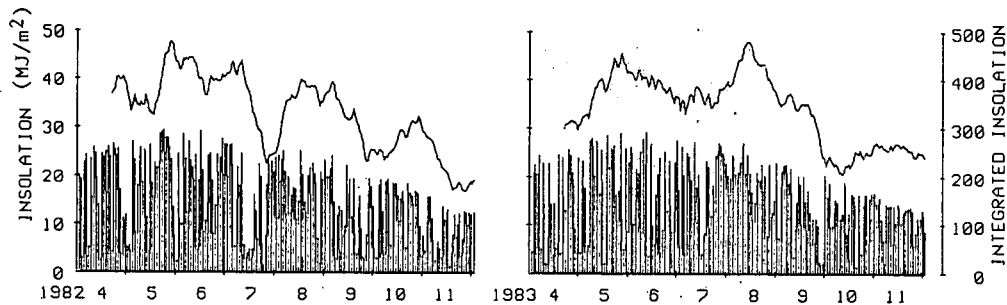


Fig. 4. Seasonal changes of insolation and 20 days-integrated insolation in Kochi City.

② 1982年度は7月上旬～中旬および9月下旬に集中的な降雨があり、特に前者は豪雨とも言えるもので7月の1ヶ月間の総雨量が 676 mm にも及んだ。

③ 4月～11月における総日射量は1982年度  $3790 \text{MJ/m}^2$ 、1983年度  $3903 \text{MJ/m}^2$  であった。1983年度は、降雨の多かった1982年に比較してやや大きい値をもつ。これは特に5月～8月の間の晴天が安定して続いたことによる。

#### 5. 栄養塩 (Fig. 5)

栄養塩類のうち DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) と  $\text{P}_{04}\text{-P}$  の季節変化を Fig. 5 に示した。

① DIN, P<sub>04</sub>-Pとも6月～9月の間に豊富で、1982年に比較し、1983年度はいずれもやや減少の傾向がみられた。

② DINの濃度は、1982年度 2-40 $\mu\text{g-at/l}$ , 1983年度 0.2-20 $\mu\text{g-at/l}$ であった。また、P<sub>04</sub>-Pは1982年度 0.2-2.5 $\mu\text{g-at/l}$ , 1983年度 0.2-1.7 $\mu\text{g-at/l}$ の範囲にあった。DINの1982年7月上旬にみられる表層水の最高値を別にすれば、これらの値は表層に少なく底層に多い。

③ 赤潮の多発する6月～9月の間のこれらの栄養塩の濃度は、水産環境水質基準<sup>8)</sup>に定められた「長期にわたって赤潮の発生しない基準値」

DIN = 100 $\mu\text{g/l}$ (=7.1 $\mu\text{g-at/l}$ )以下

DIP = 15 $\mu\text{g/l}$ (=0.48 $\mu\text{g-at/l}$ )以下

COD=1.0 $\text{mg/l}$ 以下

と比較すると、表層でこれとほぼ等しく、中層～底層では常時上回る値であった。

④ P<sub>04</sub>-P, N<sub>02</sub>-Nの値は、大野ら<sup>5)</sup>による1968年の同時期の観測結果ともほぼ等しい値であった。

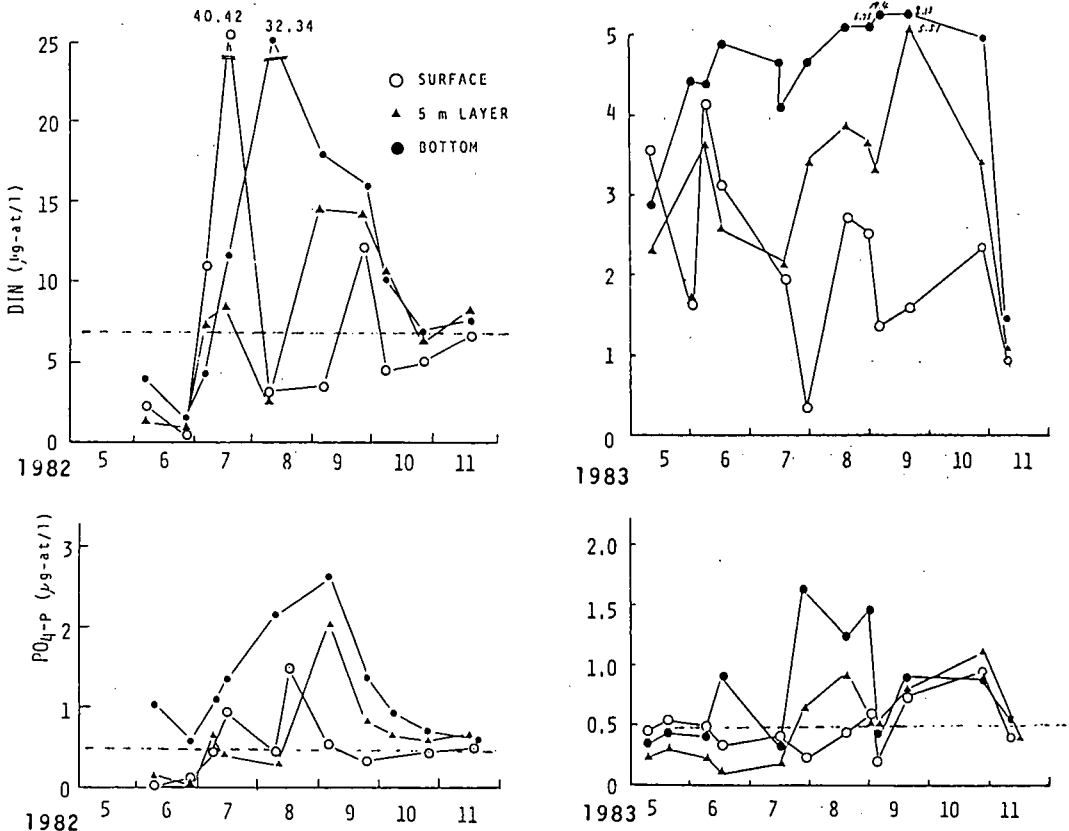


Fig. 5. Seasonal changes of nutrient salts of the water at ST.C<sup>6),7)</sup>. Dotted lines show the limit values of the water quality for fisheries environment.<sup>8)</sup>.

## 考 察

## 1. 浦の内湾の海洋構造

浦の内湾の夏期の海洋構造を考える上で、1982年度と1983年度は際立って異なる特徴を有する。ここでは、Fig. 6 に示す水塊の安定度の季節変化に基づいて考える。安定度は、密度の鉛直分布から(1)式で定義される Brunt-Väisälä 振動数  $N$  を指標とする。

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho_0}{dz}} \quad (1)$$

ここに、 $g$  は重力の加速度、 $\rho_0$  は密度、 $z$  は水深をとる。

1982年度は、7月上旬～中旬の降雨後、水塊の安定化が始まり、もっとも安定度の強い8月は著しい密度成層が形成されている。これは、浦の内湾のような内湾の場合、降雨後の表層塩分の低下に起因する。一方、1983年度の場合、安定度は5月下旬にやや高くなるものの6月以後は一様に低くなるばかりで、強い密度成層を形成することはなかった。この年は、7月下旬以後例年以上の高水温が続き下層部の水温の上昇が著しく、かつ梅雨期の降雨が少なかったことにより、例年より早い時期(8月上旬)から密度の一様化が始まった。

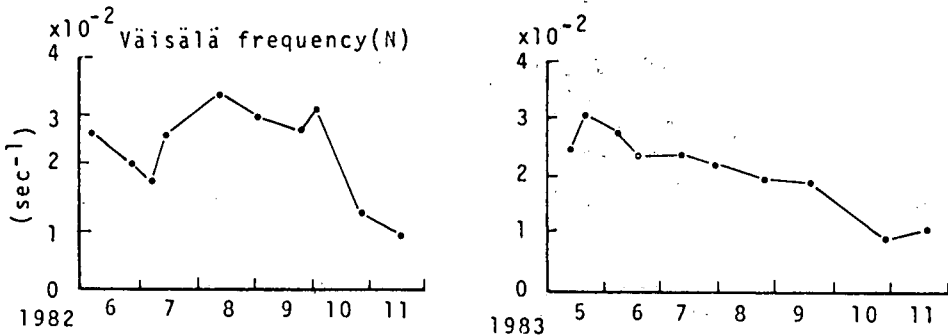


Fig. 6. Seasonal changes of Brunt-Väisälä frequency (stability of the water mass).

夏季における湾内の塩分濃度の低下は、降雨量の大小と降雨の継続期間、さらには湾内外の塩分差、湾の形状などにも依存するが、ここでは次式で求める積算降雨量との関連で見ることとする。

$$I_R = \int_{t-\Delta t}^t R dt \quad (2)$$

ここに、 $R$  は日降雨量、 $\Delta t$  は積算期間で20日間をとり、その結果を Fig. 3 の実線で示した。

1982年7月上旬から中旬にかけての降雨の影響は、カーブの峰の幅から8月中旬まで及ぶ。これは、塩分の季節変化を表わす Fig. 2 (中段)において、表層部を除く2 m 以深の塩分値が低下する期間とほぼ一致する。また、1983年の9月から10月下旬にみられる塩分の低下は9月～10月

上旬にかけての降雨の影響によるものであり、積算降雨量によってもほぼその範囲を知ることが可能である。

梅雨期における降雨量の大小は、夏期の湾内の塩分と密度場を決定するだけでなく、湾内の流速分布にも影響を与える。Fig. 7 は、1982年8月18日に一潮汐間にわたって観測した流速から、湾軸方向の恒流成分を取り出し、その鉛直分布を示したものである<sup>9)</sup>。ごく浅い表層部からの流出成分は、湾全域で見られ、湾口に近い ST. 1~2 での流速は、5~6 cm/sec に及ぶ。

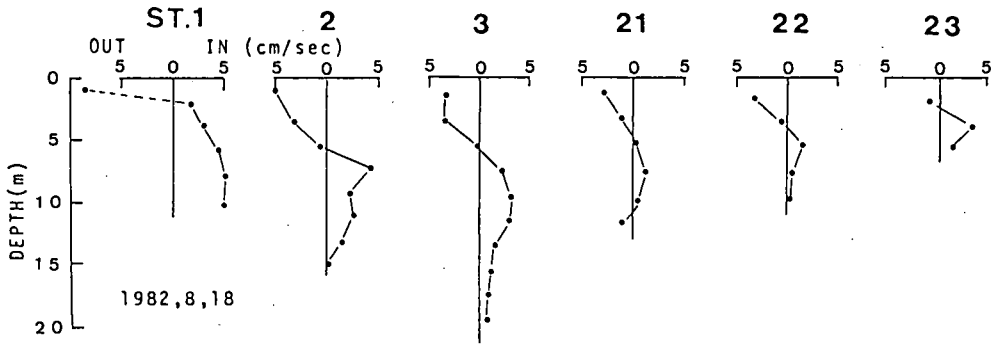


Fig. 7. Vertical distributions of constant current on 18 August, 1982.

Fig. 8 は、1982年8月18日および1983年8月26日における密度の水平分布と観測流速の湾軸成分の鉛直分布で、いずれも下げ潮時のものを示した。

これらは同一時期の結果であるにもかかわらず、前者は強い密度成層を形成しているが後者は弱い。観測流速は、湾口に近いST. 1~3 で強く 10 cm/sec、湾奥部で 1~3 cm/sec 程度である。表層からの流出速度は、中・下層のそれに比較して強いものの、1983年度はむしろ弱いことが指摘される。

淡水の流出によって生じる恒流的な流動は、湾内の表層部に浮遊するプランクトンなどの微粒子、懸濁物質を湾口へ向って運び出す効果をもつと考えられる。

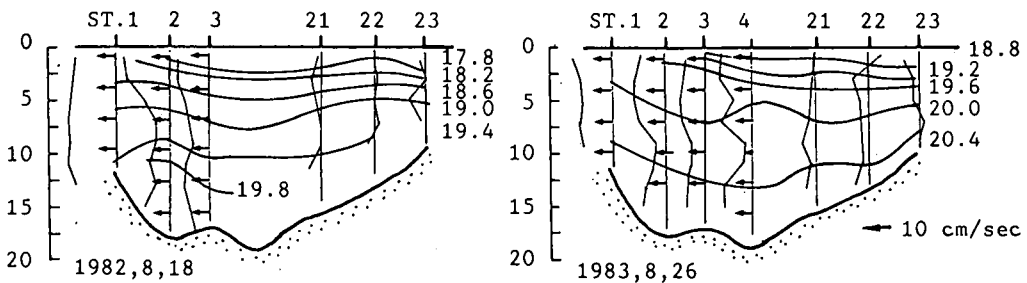


Fig. 8. Horizontal distributions of density and vertical distributions of velocity along the bay axis at the ebb tide.

## 2. 赤潮プランクトンの消長と海洋構造との関係

現在、赤潮は、その発生過程における様々な面から、機構と予察に関する研究が広く進められている<sup>10), 11), 12)</sup>。しかし、赤潮プランクトンの種類、増殖段階によっても、水温・塩分・栄養塩などの至適条件を異にし、さらには、自ら鉛直的な移動を行うものもあるなど、赤潮の発生機構はきわめて複雑で、その予測ははるかに難しい。

ここでは、浦の内湾のプランクトン調査に関する過去の文献<sup>1), 2), 4)</sup>から、特徴的な概要を述べ、さらに、1982年および1983年の春から秋にかけてのプランクトン濃度の季節変化および赤潮発生期と海洋構造との関連性についてみることにする。

1960年以前の調査によると、浦の内湾では、硅藻類 (*Chaetoceros* 属) の春の減衰、梅雨期の大増殖、盛夏期の減衰の規則性と有色鞭毛藻類 (*Ceratium* 属) の盛夏における増殖が指摘されているものの、赤潮と確認される場合はまれであった。

しかし、ハマチ養殖の始まった1960年以後は、硅藻類の増殖・減衰の規則性の変化だけでなく、プランクトンの優先種の変化が著しい特徴となっている。すなわち、硅藻類では、*Ceratium* 属に代って *Skeletonema* が主要種となり、有色鞭毛藻類では、1968年6月、7月に短期間ではあるが、*Ceratium furca* による著しい赤潮が見られ、秋季、春季の *Podolamps* の大増殖が断続している。

1980年以後ともなると、赤潮は年に2~3回の頻度で、しかも、湾内の広い範囲で長期にわたり慢性的に発生するようになった。その原因種も大きく変化し、*Gymnodinium-65*、*Heterosigma*などを優先種とする赤潮は、しばしば養殖魚に被害をもたらしている。

Fig. 8は1982年および1983年における赤潮プランクトンの濃度を硅藻類 (*Diatoms*) と鞭毛藻類 (*Dinoflagellates*) に分けて示した。これらは湾内6定点の平均値をとって、その季節変化を見たものである。図中の陰影部は規模の大小にかかわらず、湾内のいずれかの場所で、目視により赤潮と確認されたことを示し、その幅は継続期間を示す。

① 赤潮の発生は、1982年度は6月23~26日と7月7日および9月27日の3回あり、いずれも *Gymnodinium-65*、*Heterosigma* によるもので、前二者の場合は養殖魚の斃死などの被害もみられた。

② 1983年度は6月1~5日および7月20~25日に、いずれも *Heterosigma* による赤潮が認められ、8月20日~9月2日には *Gymnodinium-65* による慢性的な赤潮状態が続いた。

③ プランクトン組成から *Diatoms* では、*Skeletonema Costatum*、*Chaetoceros*、*Nitzschia*、*Rizosolenia*、*Heterosigma* が、*Dinoflagellates* では *Gymnodinium-65*、*Gymnodinium sp* などが主要種であった。

④ プランクトンの著しい増殖を示した1982年6月下旬、9月下旬、1983年6月上旬、9月下旬はいずれも水塊安定度の弱い時期に一致しており、この時期に先立つ数週間の降雨が少なく、Fig. 3に示す積算降雨量のカーブの谷の時期でもある。

八塚・川村は、1958年~1959年の硅藻類の大増殖は梅雨期にあり、盛夏には減衰することを述べている<sup>4)</sup>が、1982年、1983年の傾向はこれと逆である。例えば、1982年6月下旬の高濃度の *Diatoms* の増殖は7月上旬の降雨後激減し、8月~9月中旬にかけて徐々に増加するものの9月下旬の降雨後再び減少する。

1960年以前にみられた降雨時の硅藻類の大増殖は、流出に伴う栄養塩の供給によるもので、逆に現在は富栄養化によっていつでも増殖の可能性のあることを意味しており、むしろ降雨期におけるプランクトンの減少は表層部から淡水の流出に伴って湾外へ運ばれて消失するものと考えられる。

*Dinoflagellates* についても、*Diatoms* と同様に安定度の弱い時期に一致して増殖がみられ



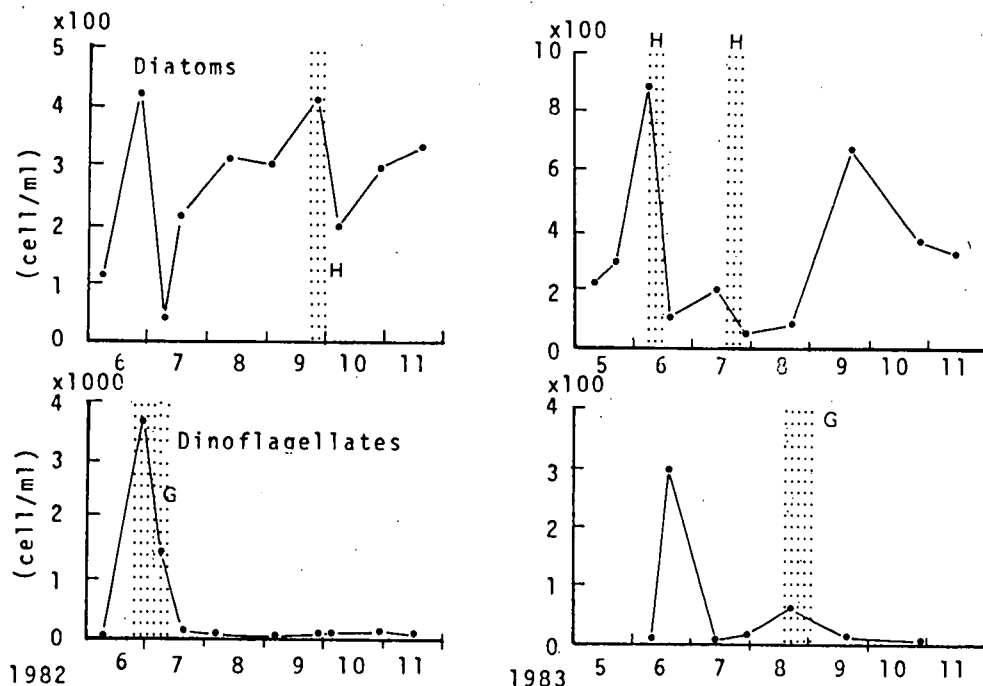


Fig. 9. Seasonal changes of multiplication of plankton and red tide occurrence. The points on the curve are averaged values from the six stations. The shadows show the red tide occurrence and its duration<sup>6), 7)</sup>.

るが、これによる赤潮の発生は、いずれも水温上昇期に限られる。降雨が少なく、弱安定の状態が長期にわたって続いた1983年度は、8月中旬～下旬にかけて *Gymnodinium* による慢性的な赤潮がみられた。

Fig. 4 に示すカーブは、積算降雨量の場合と同じ方法で求めた積算日射量である。1982年および1983年4月～11月における総日射量は、同時期の総降雨量にみられる程の差はない。しかし、20日間の積算日射量の変化によって日射の特徴をより明瞭にとらえることができる。積算日射量には、両年とも6月および8月を中心とするピークが見られ、この時期はプランクトンの増殖と赤潮の発生が集中する。

### 要 約

1982年および1983年における浦の内湾の海洋環境の季節的变化とプランクトンの増殖、赤潮発生状況に関する調査資料<sup>6), 7)</sup>を整理し、以下の結果を得た。

(1) 1982年度は、7月中旬の豪雨により、以後8月末まで湾内の塩分の低下が進み、日射量の増大と相まって強い密度成層が形成され、この間高い水塊安定度で持続した。

(2) 1983年度は、4月中旬および9月下旬～10月上旬にかけての降雨以外はきわめて少なく、その結果、8月の高水温期、塩分低下に伴う密度成層が弱く、長期にわたって水塊の不安定な状態が続いた。

(3) 1983年度は、梅雨期の降雨量が少ないため、7月の冷夏にもかかわらず、表層水温の上昇速

度が著しく、前年に比較して1ヶ月程度早い7月末の時期にはすでに最高水温となり、かつ高水温期が1ヶ月もの長期にわたって続いた。

(4) 1982年度のように梅雨期の降雨量が大きい場合には、表層を通しての淡水の流出による恒流的な流動が生じ、海水交換が促進される。

(5) 浦の内湾では、20日程度の積算降雨量の変化から、そのピークの高さと幅によって湾内の塩分低下の程度と継続期間を予測することができる。

(6) プランクトンの増殖は、水塊の非安定期、積算降雨量の谷、積算日射量のピークとなる時期に一致しており、特に *Diatoms* については1960年以前とは逆の増殖パターンであった。

(7) 積算降雨量のピークとなる時期、すなわち淡水が表層を通して湾外へ流出する水塊安定期には、プランクトンの異常な増殖は見られない。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当り、高知県水産試験場漁場環境科より、1982年および1983年度の赤潮予察事業として観測された資料<sup>6),7)</sup>をお借りした。資料提供の御好意に対して厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 竹田正彦, 昭和38年度浦の内湾総合開発調査報告書, 浅海開発資料 I, 高知県, 59-112 (1964).
- 2) 竹田正彦, 昭和38年度浦の内湾総合開発調査報告書, 浅海開発資料 I, 高知県, 136-181 (1965).
- 3) 上森千秋, 浦の内湾開発の方向と問題点, 高知県, 11-48 (1970).
- 4) 畑幸彦, 浦の内湾開発の方向と問題点, 高知県, 49-78 (1970).
- 5) 大野正夫, 井本成彬, 八塚剛, 浦の内湾の海洋学的調査, 宇佐臨海実験所研究報告, 18, No. 1, 1-41 (1971).
- 6) 高知県水産試験場, 昭和57年度赤潮予察事業報告書, 1-27 (1983).
- 7) 高知県水産試験場, 昭和58年度赤潮予察事業報告書, 1-28 (1984).
- 8) 日本水産資源保護協会, 水産環境水質基準, 1-24 (1972).
- 9) 宗景志浩・木村晴保, 浦の内湾の夏季成層期における流動特性, 第31回海岸工学講演会論文集, 660-664 (1984).
- 10) 岩崎英雄, 赤潮生物の栄養要求性, 赤潮-発生機構と対策, 11-24, 恒星社厚生閣, 東京 (1980).
- 11) 吉田陽一, びわ湖の「淡水赤潮」に関する研究——II, 日陸誌, 44, 1, 28-35 (1983).
- 12) 吉田陽一, 赤潮の発生予察, 赤潮-発生機構と対策, 90-104, 恒星社厚生閣, 東京 (1980).

(昭和59年9月30日受理)

(昭和60年1月24日発行)