

## 瀬戸内海の一次生産に関する研究

遠 藤 拓 郎  
(広島大学水畜産学部水産学科)

### On Primary Production in the Seto Inland Sea

Takuo ENDO

*Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,  
Hiroshima University, Fukuyama  
(Figs. 1-26)*

#### 目 次

I 序 論	177
II 方 法	179
III 一次生産量の変動と分布	
1 測定方法の検討	180
1) 海中懸濁物による $\beta$ 線吸収の検討	180
2) 一次生産量の算出法	182
2 日変化	187
3 水平分布	187
4 季節変動	201
IV 植物プランクトンとその増殖	
1 植物プランクトンの水平分布と季節変動	201
2 <i>Exuviaella</i> の大增殖	204
3 植物プランクトンの増殖におよぼす栄養源添加の効果	210
V 一次生産の算定ならびにこれと関連する生産	
1 一次生産	211
2 海藻類による一次生産	212
3 海中懸濁質有機物の起原	212
4 漁業生産との関係	213
5 総括的考察	214
VI 要 約	214
文 献	217
SUMMARY	219

#### I 序 論

瀬戸内海\*は、瀬戸内または内海とも呼ばれ、本州の南西に位置して、本州・四国・九州に囲まれる東

\* 瀬戸内海の地理区分として、紀伊・豊後両水道を加えることもあるが、ここでは、この両水道を含ませていない。

西に細長い内海である。面積はおおよそ 17,000km<sup>2</sup> であるが、島嶼などによって多くの灘、瀬戸、湾に細分され、その地形は複雑である。また、内海は、東側は紀伊水道、西側は豊後水道を通して太平洋に連なり、また西端の下関海峡によって日本海に接する。したがって、内海の家況はこれらの水道を経て外洋水の影響をうけるが、水道から離れるにつれて内湾的性格を強めて行く。しかし、複雑な地形のために、その推移は単純なものではなく、内海の家況は多様ではあるが、一般的にみて内湾的性格に富んでいるといえる。

このような性格をもった瀬戸内海は、一方漁場ならびに増・養殖場として水産上重要な水域である。本水域における漁業についてみると、年間平均約 28 万トンの漁獲量があり、その漁獲物の種類も豊富で、カタクチイワシ、イカナゴなどの浮魚やヒラメなどの底棲魚類のほかエビ類、イカ・タコ類、貝類など多種類の水産物の漁獲がある。また、増養殖業も盛んで、とくにカキと魚類の養殖では全国生産量の約半分が本水域で生産され、さらに、ノリ、真珠などの養殖も本水域で行なわれている。

上述したように、瀬戸内海は、家況が多様であり、内湾的性格に富んでいること、したがって、棲息している生物の種類も多いことなどのために、生態学的な観点からみるとこの水域の生態系も複雑で、生物生産の機構も単純ではない。しかし、高次の栄養段階におけるほとんどすべての動物生産が、植物の光合成による有機物生産、すなわち水界における第一次生産の基盤の上に立って、直接または間接にこれに依存していることは明らかである。

一般に、海洋における一次生産の過程では、植物プランクトンによる生産がその主要な部分を占めている。したがって、ある特定水域において植物プランクトンによる一次生産過程の動態を究明することは、その水域の生態系において低次から高次に至る各栄養段階の生物生産機構の解明に対して基礎的知見を得る意味からは勿論のこと、高次の栄養段階にある水産動物資源生産の基盤としての有機物生産の様相を把握する意味からも重要である。

このような水界における一次生産者としての植物プランクトンの研究は、1887 年に HENSEN によって始められた浮游生物学 (planktology) の重要な生態学の一研究分野として発展してきた。研究方法の面から歴史的にみると、1920 年代には植物プランクトンによる一次生産の大きさを海中の栄養物質質量の変化から推定することが ATKINS により試みられ、さらに 1930 年頃には溶存酸素法により光合成量を測定し、直接一次生産量を測定する試みが GRAN らにより行なわれた。さらに精度の高い方法として、STEEMANN NIELSEN (1952) は放射性同位元素 <sup>14</sup>C を用いる光合成量測定法を開発し、水界における一次生産量の測定は容易になった。以来、この <sup>14</sup>C 法を用いることにより、水界の一次生産に関する研究は急速に進められ、一次生産量の水界における地理的分布やその動態の様相などが次第に明らかにされつつある。

わが国においても過去 10 数年来、日本周辺の外洋水域ならびに沿岸水域において、上述の <sup>14</sup>C 法を用いた水界の一次生産量の測定研究が多くの研究者によりかなり詳細に行なわれて来た。しかし、瀬戸内海水域を対象とした一次生産量に関する総合的な研究は今まで至って少なく、一次生産者としての植物プランクトン量およびその組成などに関する知見が多少得られているに過ぎない。本研究は、このような状況から、水産業上重要な水域である瀬戸内海の一次生産の実態を詳細に究明することを目的として、生産量の水平分布や季節変動、また一次生産の主体をなす植物プランクトンの動態に関して研究を行なったものである。

本文に入るに先立ち、御指導と御援助をいただいた前広島大学教授松平康雄博士、東京大学名誉教授松江吉行博士、東京大学新崎盛敏教授、江草周三教授、多賀信夫教授、丸茂隆三教授、また広島大学小山治行助教授に感謝します。また、調査や植物プランクトン定量について御援助と御教示をいただいた熊本大学弘田礼一郎助教授と、生産量測定について御援助と御教示をいただいた名古屋大学西条八束教授、坂本充助教授に感謝します。

また、調査に御協力下さった広島大学実習船“豊潮丸”の上領船長ほか乗員の方々、観測艇“かもめ”の神田富夫氏、向島臨海実験所調査船“スパルス”の藤本英明氏に感謝します。

## II 方 法

一次生産の実態を把握するために、植物プランクトンによる光合成量を測定し、また、光合成を行なう色素のうちクロロフィル *a* 量について定量した。なお、一次生産の主体をなす植物プランクトンの種類・細胞数も調べた。また、海況要因のうち、水温・塩素量・透明度などについて測定を行なった。

### 1) 光合成量の測定法

光合成量 (rate of photosynthesis) とは、 $^{14}\text{C}$  法により、下記のタンクにおいて測定した、単位時間、単位体積当りの炭素同化量、 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$  である。この炭素同化量を一次生産量と呼ぶこともあるが、後述する一次生産量 (一日、単位面積当りの炭素同化量、 $\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$ ) との混同をさけるために、この語を用いた。

放射性同位元素  $^{14}\text{C}$  を用いて炭素同化量を測定する方法については、STEEMANN NIELSEN<sup>43)</sup> や DOTY and OGURI<sup>9)</sup> 等が詳細に述べている。本研究では、測定は西条<sup>28)</sup>の方法に準拠し、タンク法によって行なった。なお、一部では現場法による測定も合わせて行なった。

測定法の概要は、まず、試水は Van Dorn 採水器を用いて採取し、これを明瓶 2 本、暗瓶 1 本 (容量 100 ml) にわけて入れる。各々の瓶に  $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$  溶液 (5, または  $10\mu\text{curie}/\text{ml}$ ) を 1 ml ずつ加えた。

タンク法 (tank method) では、これらの瓶を光合成測定用タンクに入れ、蛍光灯を用いて 12,000 ルックスで 3 時間照射した。なお、タンクは流水式で、測定時の水温を現場の表層水温に近く保った。照射後ただちに、試水にホルマリンを加え、植物プランクトンを固定した。

この試水をミリポアフィルター A A (直径 24 mm, 孔径  $0.8\mu$ ) で吸引濾過し、濾紙は 0.001 N HCl + 3 % NaCl 溶液と 3 % NaCl 溶液を順次通して洗滌した。濾紙上の試料の放射能は、 $2\pi$  ガスフロー・カウンターを用いて測定した。

光合成量の計算は、次の式によった。

$$\text{光合成量 (mgC}/\text{m}^3/\text{h}) = W \times \frac{L-D}{C} \times \frac{1000}{N}$$

W : 試水中の全炭酸量 (mg C/l)

L : 明瓶の試料の放射能計数値 (cpm) (2 本の平均値)

D : 暗瓶の試料の放射能計数値 (cpm)

C : 試水に入れた放射能の計数値 (cpm)

N : 光の照射時間 (h)

なお、水中の全炭酸量は、試水 50 ml を用い、拡散法によって測定する西条<sup>28)</sup>の方法にしたがって定量した。

これら  $^{14}\text{C}$  法によって測定された光合成量は、総生産量と純生産量間の値を示すといわれている<sup>46)</sup>。しかし、呼吸量は光合成量の 8 % 前後といわれており<sup>50)</sup>、また一方、光合成量測定の野外での実験では 10 % までの測定誤差を生じるといわれている<sup>4,9)</sup>。そこで、光合成量の測定値は補正を加えずに、純生産量に近い値とみなした。

なお、一部で併用した現場法 (*in situ* method) では、測定用タンクに入れる代わりに、明・暗両瓶をそれぞれ採水した層に吊り下げ、日出から正午、または正午から日没までの半日間光合成を行なわせた。この測定値は、2 倍して、1 日、単位体積当りの同化量、 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$  で表わした。

### 2) クロロフィル *a* 量の定量法

海産植物プランクトンにおいて光合成を行なう色素は、単にクロロフィル *a* のみではないが、ここではその性質も明らかであり、また定量の上にも問題の少ない、この色素を光合成色素の代表としてとり上げた。

定量は、CREITZ and RICHARDS<sup>5)</sup>、および RICHARDS with THOMPSON<sup>37)</sup>の方法を改良した、西条<sup>28)</sup>の方法によって行なった。

すなわち、試水をミリポアフィルター A A (直径 47 mm, 孔径 0.8  $\mu$ ) で沝過し、沝紙上の試料はデシケータ中に乾燥保存した。後に、試料は 90% アセトン溶液に浸漬 (24 時間) して色素を抽出し、遠沈して沈澱物を除き、上澄液は分光光度計にかけて、特定波長の吸光度を測定した。

クロロフィル *a* 量は、次の式によって計算した。

$$\text{クロロフィル } a \text{ 量 (mg/m}^3\text{)} = \text{Ca} \times \frac{v}{V} \times \frac{1}{L}$$

*v* : 抽出に用いたアセトン溶液の量 (ml)

*V* : 沝過した試水の量 (l)

*L* : 吸光度測定に用いたセルの光路長 (cm)

$$\text{Ca} = 15.6 \times E_{665} - 2.0 \times E_{645} - 0.8 \times E_{630}$$

ここで、 $E_{665}$ ,  $E_{645}$ ,  $E_{630}$  は、それぞれ 665, 645, 630  $m\mu$  の波長における吸光度で、光度計の各波長の読取値から 750  $m\mu$  の読取値をそれぞれ引いて、濁りの補正をした値である。

なお、クロロフィルの定量は、最近では新しい計算式<sup>47)</sup>が用いられているが、ここでは比較的便のため、当初に用いた上記の式を継続して使用した。

### 3) その他の測定法

透明度は、直径 30 cm の Secchi 板を用いて測定し、その深度をもとにして採水層を定めた。

塩素量、溶存酸素量、Silicate-Si, Phosphate-P は、海洋観測指針<sup>34)</sup>にしたがって定量した。

Nitrate-N は、MULLIN and RILEY の方法<sup>30)</sup>を改良した方法 (神戸海洋気象台の方法) によって定量した。

水温は、棒状温度計、あるいはサーミスター温度計を用いて測定した。

また、植物プランクトンは、採水法によって採集し、検鏡して、種類およびその細胞数を調べた。

## III 一次生産量の変動と分布

### 1 測定方法の検討

一次生産量の測定は、現在、大体標準化されているが、瀬戸内海での測定にあたって、次の 2 点について吟味した。

#### 1) 海中懸濁物による $\beta$ 線吸収の検討

放射性同位元素  $^{14}\text{C}$  の出す  $\beta$  線はエネルギーが低く、計数の際に試料が厚いと自己吸収して、測定値は過少になる。

沿岸海域では、一般に様々な起原をもつ、有機・無機の物質からなる浮游懸濁粒子が多く、これが試水を沝過するさいに沝紙上に残り、測定試料の層を厚くする。本研究では試水は約 100 ml を用いたが、これに含まれる懸濁物による  $\beta$  線の吸収について検討した。

光合成を行なわせた試水を、10, 25, 50, 75, 100 ml にわけてそれぞれ沝過し、沝紙上の試料の放射能を測定した。その結果は、Fig. 1 にみるように、3 回の実験ともに測定値は試料の量を増すと共に直線的に増加し、100 ml までは  $\beta$  線の自己吸収による測定値の減はみられなかった。この実験において最大の濁りをもつ試水は、懸濁物量が 0.34 mg/100 ml (現場での透明度は 3.3 m) であった。

次に、 $\beta$  線の自己吸収について炭酸バリウムを用いて実験した。実験は JIRTS and SCOTT の方法<sup>24)</sup>にならって、沈澱量が異なる 5 段階の炭酸バリウム沈澱を作る、このさいそれぞれの沈澱は一定量の  $^{14}\text{C}$  を含むようにする。これをミリポアフィルター H A (直径 24 mm, 孔径 0.45  $\mu$ ) を用い沝過して集め、乾燥後、重量と放射能を測定した。

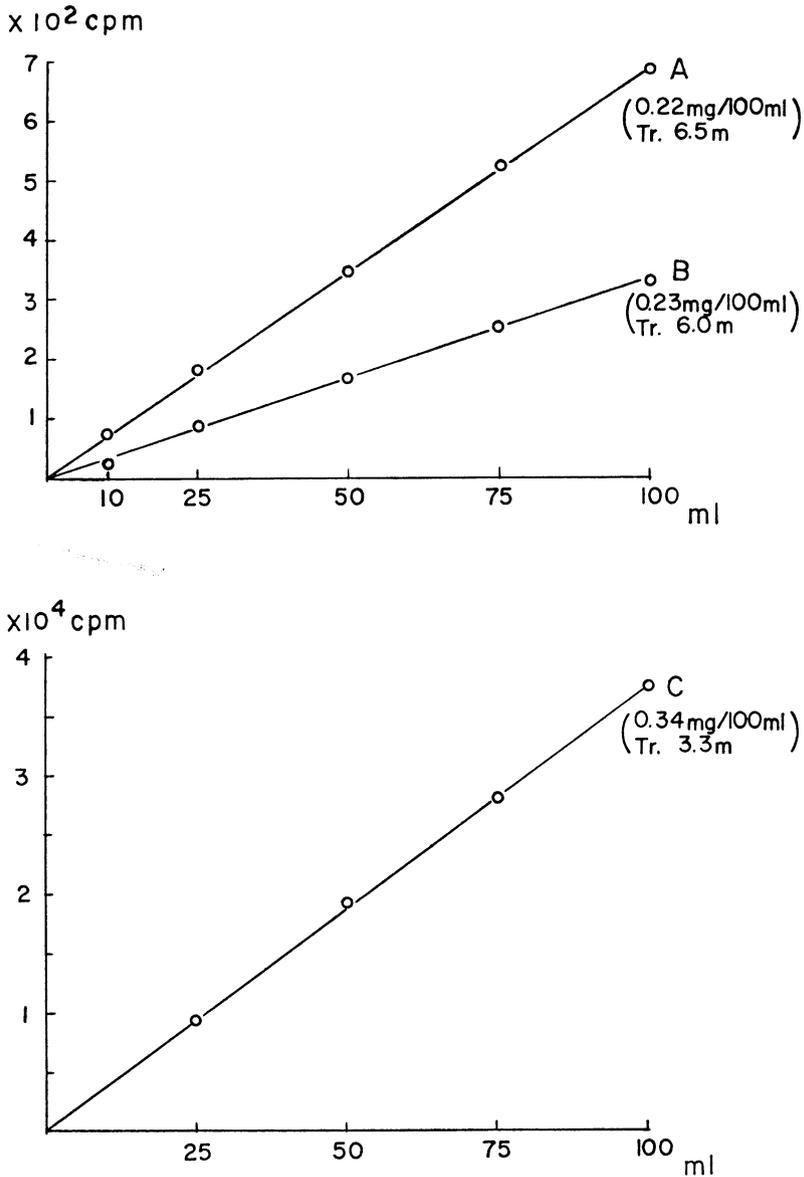


Fig. 1. Correlation of volume of the sea water sample to counting rate of radioactivity.

その結果は Fig. 2 にみられるように、一定量の  $^{14}\text{C}$  を含むにもかかわらず、炭酸バリウムの量が増すにつれて測定値はてい減する。ここで JITS and SCOTT<sup>24)</sup> や STEEMANN NIELSEN<sup>44)</sup> の曲線と差がみられるが、これは実験方法の差異によるのであろう。この曲線から、先の海水試料ではてい減のみられなかった  $0.34 \text{ mg}/2.6 \text{ cm}^3$  において 10% 程度の減少がみられたが、これは、試料の質の相違によるものと考えられる。

なお、培養した *Skeletonema* と *Chlorella* で、宝月ら<sup>18)</sup> は  $1 \text{ mg}$  程度以下では藻体量と放射能測定値の間に、直線関係が維持されると報告している。

このように、 $\beta$  線の自己吸収は試料の質などによって程度の差はあるが、懸濁物が試水  $100 \text{ ml}$  当り

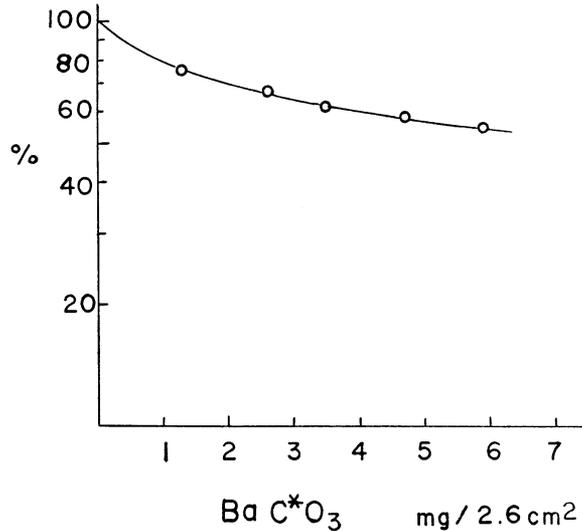


Fig. 2. Self-absorption correction curve.

0.34 mg 以下ではこれを無視することが出来る。したがって、内海では一部の特別な水域を除き、一般には試水 100 ml を用いて測定を行なっても支障はない。

## 2) 一次生産量の算出法

一次生産量 (primary production) は、現場の一日、単位面積当りの炭素同化量  $\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$  で、光合成量 ( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ ) に基づいて算出したものである。なお、後述する“内海の一次生産量”とは、この一次生産量を内海全域について総計したものである。

一次生産量を直接に測定する方法は、現場法によって得られた各層の同化量 ( $\text{mg C}/\text{m}^3/\text{day}$ ) を、深さについて積算して求めるのである。この方法によって現場の値を測定することはのぞましいが、長時間にわたって船を止め、調査に時間がかかるなど実施は容易でない。

間接的に一次生産量を推定する方法は種々ある<sup>46)</sup>が、ここではタンク法によって測定した光合成量を基にして、STEEMANN NIELSEN の方法<sup>48)</sup>を用いた。ただ、本研究の場合には、海域や測定条件などを異にしたので、これらの点について検討を加え、補正をほどこした。

まず、内海において現場法によって測定した半日間の同化量の鉛直分布についてみると Fig. 3 のように、分布の様相は、一般には上の層で値は大きく、下層になるに従って小さくなった。透明度の 2 倍深度付近では値は著しく小さく、生産の行なわれるのはこの付近の深度までと考えられる。ただし、透明度の 1/2 深度では上の 0.5 m 層よりも大きな値を示すこともあった。外洋と比較すると、上の層の値は大きい、生産層の深さは著しく小さい。

STEEMANN NIELSEN の式は、

$$P(\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}) = \frac{(2a+2b+c) \times d \times e}{5 \times 2} \times k$$

ここで、a, b, c はそれぞれ表層の水、照度が表層の 10% を示す深度の水、1% の深度の水の光合成量、d は照度が表層の 1% を示す深さ、e は日出から日没までの時間を表わす。また、k は常数で、熱帯水域において、光合成を照度 18,000 ルックスのタンクで測定したときに k を 1 とした。

本研究では、a, b, c をそれぞれ 0.5 m 層、透明度深度の層、透明度の 2 倍深度層における水の光合成量 ( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ 、ただし照度 12,000 ルックスで測定)、d は生産層の深さ (m) で透明度の 2 倍を、また、e は日出から日没までの時間 (h) で岡山市における値の概数 (表 1) をとった。

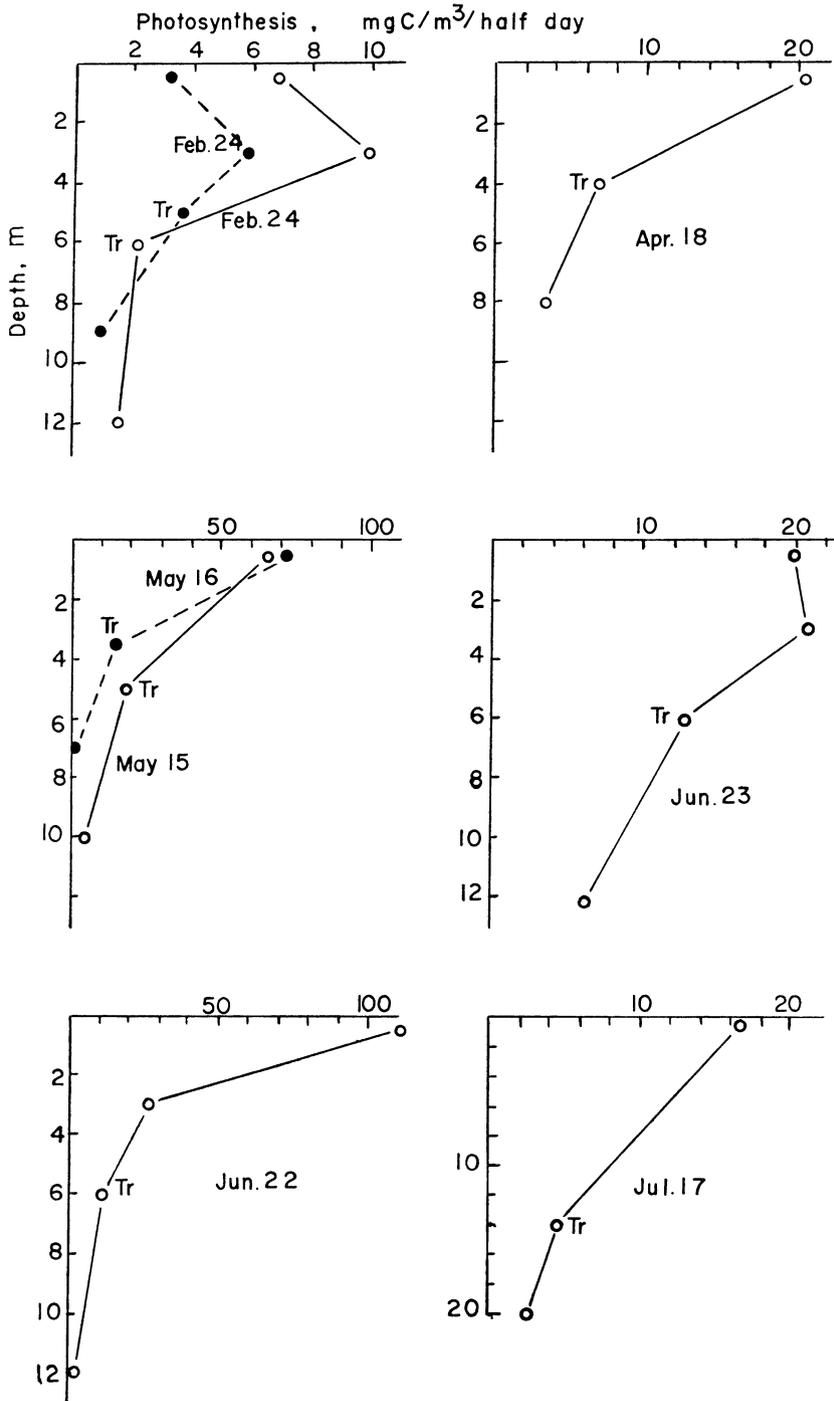


Fig. 3-1. Vertical distribution of daily photosynthesis by *in situ* experiments (Tr: transparency by the 30cm Secchi disk).

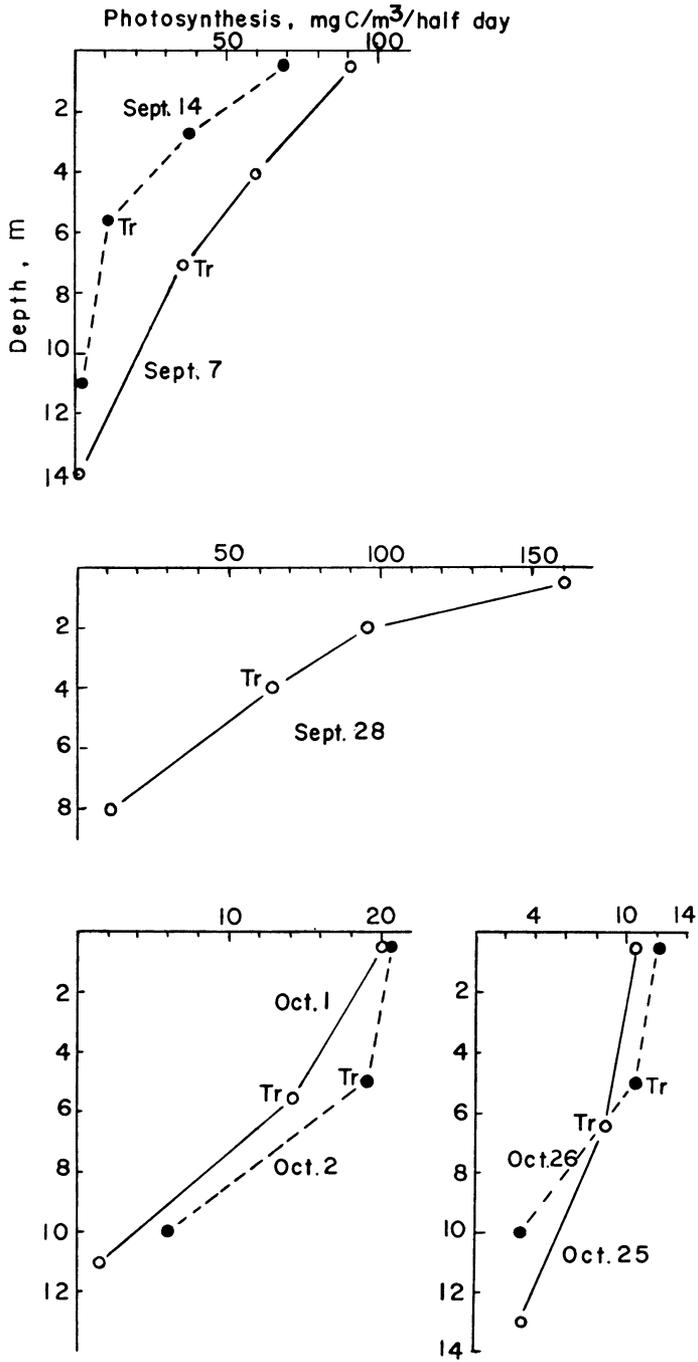


Fig. 3-2. Vertical distribution of daily photosynthesis by *in situ* experiments (Tr: transparency by the 30cm Secchi disk).

表1. 岡山市における日出から日没までの時間

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
時間	10	11	12	13	14	14.5	15	13.5	12.5	11.5	10.5	10

k は、これらの値を式に入れた時の補正係数として、次のように求め、1.0 と定めた。

すなわち、表2にみるように、現場法の測定を行なった15組 (Fig. 3) について、それぞれ一次生産量を、各層の同化量から深さについて積算して求める。一方、同じ試水についてタンク法で測定した光合成量と透明度などを、k をのぞく上の式に代入して計算する。 $k_i$  (表2) はこの両者の比 (一次生産量/計算値) で、0.28~2.78 の範囲にあり、平均は1.08 となった。上・下限の極端な値を示す2例をのぞくと、0.56~1.77 の範囲で、平均1.01となる。そこで、補正係数kはこの平均値をとって1.0とした。

表2. 計算式からの値、現場法による測定値および両者の比

Date	Weather	Calculation	<i>in situ</i>	Ratio, $k_i$ ( <i>in situ</i> /calcul.)
2-23	fine	70.62	106.42	1.51
-24	fine	35.64	62.97	1.77
4-18	fine	170.56	155.15	0.91
5-15	cloudy	582.40	558.08	0.96
-16	cloudy	557.62	382.96	0.69
6-22	fine	752.55	861.94	1.15
-23	fine	345.39	316.63	0.92
7-17*	cloudy	123.00	341.44	(2.78)
9- 7	fine	2091.25	1167.38	0.56
-14*	rain	1876.88	524.68	(0.28)
-28	fine	2040.00	1313.05	0.64
10- 1	fine	262.48	290.69	1.11
- 2	fine	359.95	369.06	1.03
-25	cloudy	233.20	199.80	0.86
-26	fine	181.13	180.80	1.00

Mean=1.08

Mean per 13=1.01

算出された一次生産量の精度については、現場法によって測定された生産量がその日の天候状態によって左右されるので、検討の方法もないが、STEEMAN NIELSEN<sup>(48)</sup> は先の方法の精度を±20%以内とみなしている。いま、実測の生産量を目安としてみると、計算値は極端な2例をのぞき、その0.56~1.79倍 ( $k_i$ の逆数) の範囲にあり実測値の±20%以内に入る例が半数である。したがって、精度もこの程度と考えられる。

なお、両値に大きな差のみられた9月14日の例は、日射量が非常に少なかった (日射量 88gcal/cm<sup>2</sup>/day) ため、タンク法による光合成量は1週間前 (9月7日, 399gcal/cm<sup>2</sup>/day) の測定値と大差ないにもかかわらず、現場による生産量が約半分落ちていた。

先に、坂本<sup>(28)</sup>は備後灘を含む日本沿岸水域の一次生産量を、RYTHERの式の変法によって算出した。この方法ではタンク法によって測定した光合成量を基に、透明度、各月の平均日射量、標準的な光一光合成曲線を用いて、生産量を計算する。この坂本の方法と本研究に用いた方法とによって、季節変動調査のさいの光合成量からそれぞれ生産量を計算し、比較してみると、両者には若干の差がみられ、本研究の値は坂本の値の0.4~1.4倍の範囲にあって、大部分の例では前者の値がやや小さかった。

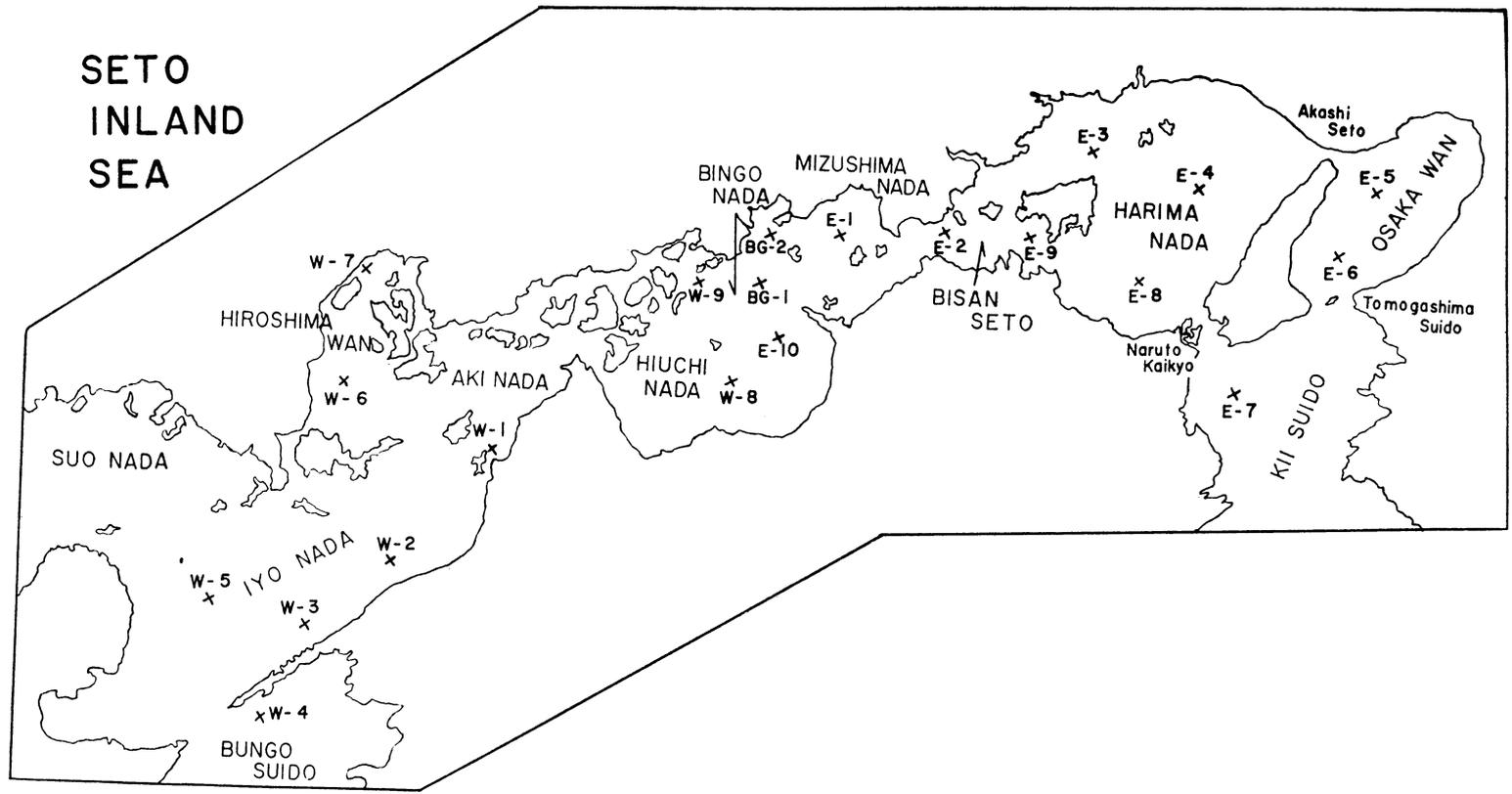


Fig. 4. Map showing the stations where the observations were carried out in the western half in June, and in the eastern half in September, 1963.

## 2 日変化

この項については既に報告<sup>55)</sup>した。その大要は、VI要約3)で述べる。

## 3 水平分布

瀬戸内海における一次生産量の分布を明らかにするため、生産の小さい1月と、その大きい9月、また成層の安定している6月に、それぞれ代表的な観測点を選び調査を行なった。

さらに、一水域内の狭い範囲における分布の様相を知るために、7月に備後灘で横断調査を行なった。なお、観測層は原則として、0.5 m、透明度深度、透明度の2倍深度の3層をとった。

### 1) 調査結果

#### (1) 6月の一次生産

この調査結果のうち、海況、クロロフィル *a* 量および光合成量については既に詳しく報告<sup>56)</sup>した。ここではそれらの大要を述べ、さらに一次生産量について報告する。

1963年6月20日から25日にかけて、瀬戸内海の西半分の水域(周防灘をのぞく)において11点(Fig. 4)を選んで調査した。

水温は15.5~23.9°Cの範囲にあった。クロロフィル *a* 量は0.21~1.38 mg/m<sup>3</sup>、光合成量は0.96~9.63 mgC/m<sup>3</sup>/hの範囲にあって、水域による差が大きかった(Fig. 16 参照)。

一次生産量(Fig. 5)は、豊後水道(W-4)をのぞいて、0.43~0.95 g C/m<sup>2</sup>/dayの範囲にあって、平均は0.59 g C/m<sup>2</sup>/dayであった。光合成量の大きいW-2(伊予灘)とW-7(広島湾北部)では大きく、内海中央域の一部(W-8と9)では小さな値であった。豊後水道では0.81と比較的大きな値が得られたが、これは光合成量が小さいにもかかわらず、透明度が大きく、したがって生産量も大きくなったことによる。

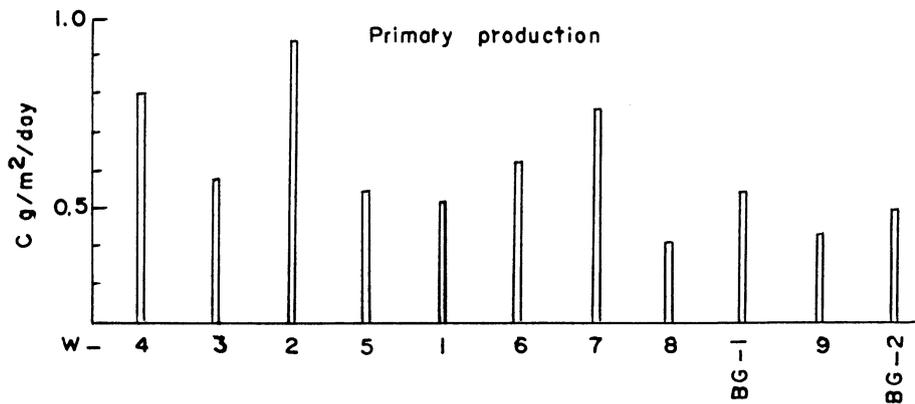


Fig. 5. Daily primary production at each station in the western half in June, 1963.

#### (2) 9月の一次生産—内海東部および中部水域

この調査結果のうち、海況、クロロフィル *a* 量および光合成量については既に詳しく報告<sup>56)</sup>した。ここではそれらの大要を述べ、さらに一次生産量について報告する。

1963年9月18日から22日にかけて、内海の東半分の水域において11点(Fig. 4)を選んで調査した。

水温は24.2~25.7°Cの範囲にあった。クロロフィル *a* 量は1.60~13.83 mg/m<sup>3</sup>、光合成量は6.9~102.29 mgC/m<sup>3</sup>/hの範囲にあった(Fig. 16 参照)。クロロフィル *a* 量と光合成量のうち、大きな値は渦鞭毛藻類(*Goniolux polygramma*)が多量に出現していたことによる。

一次生産量(Fig. 6)は、紀伊水道と渦鞭毛藻類による赤潮となっていたE-8, 4をのぞくと、0.40~0.83 gC/m<sup>2</sup>/dayの範囲にあり、平均0.62 gC/m<sup>2</sup>/dayであった。E-6, 9, 10ではやや大きく、E-2はや

や小さな値である。赤潮の E-8 と 4 ではそれぞれ 5.3, 1.4, また紀伊水道は 1.1 と大きな値を示した。

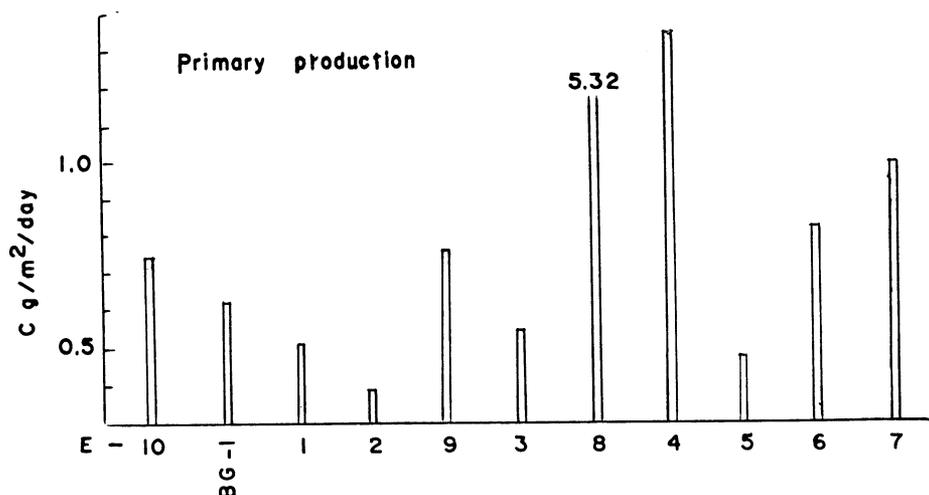


Fig. 6. Daily primary production at each station in the eastern half in September, 1963.

(3) 9月の一次生産—内海中央域

1964年9月27日から10月3日にかけて、Fig. 7に示す内海中央水域において、H-1から7、およびBG-1の8点を選んで調査した。調査結果はFigs. 8, 9に示した。

海況(Fig. 8)では、前年9月の調査のさいと同様に、水温と塩素量に上下層間の差は小さいか、またはなかった。水温は23.8~26.0°C、塩素量17.41~18.26‰、溶存酸素量は85~104%、透明度2~11mの範囲にあった。H-1(備讃瀬戸)は、観測点の中で、水温が最も高く、塩素量は最低、透明度は最小を示した。

この水域につながる東側のH-2, 3(播磨灘)と、西側のBG-1(備後灘)、H-4(燧灘)では、それより水温は低く、塩素量は高くなった。

更に西側へは、H-5(安芸灘)、H-6(伊予灘)の順に、水温は低下し塩素量は高くなっていく。

H-7(広島湾)では、H-5より塩素量が低い、水温もまた低く特異な変化をした。

透明度は、塩素量の変化と同じ傾向を示し、塩素量が高いところほど大きな値となった。

クロロフィルa量(Fig. 9)は、0.80~7.28mg/m<sup>3</sup>で、BG-1で最も大きく、播磨灘(H-2と3)では小さな値であった。

光合成量(Fig. 9)は、2.64~10.07mgC/m<sup>3</sup>/hの範囲にあって、H-1では大きく、クロロフィルa量の少ないH-3で小さかった。

単位クロロフィルa量当りの光合成量(Fig. 9)は、0.87~3.5mgC/mg/hで、クロロフィルa量の少ない播磨灘(H-2と3)では大きく、逆にその多いBG-1では小さな値であった。

一次生産量(Fig. 9)は、0.16~0.89gC/m<sup>2</sup>/dayで、平均0.42gC/m<sup>2</sup>/dayである。透明度が大きい、すなわち生産層の大きなH-5と6では大きな値を、逆に生産層も小さく、光合成量も小さい播磨灘(H-2と3)では小さな値を示した。また、この生産量の分布の傾向は塩素量や透明度のそれと似ており、塩素量の高いところに生産量は大きい。

(4) 1月の一次生産

1966年1月28日から2月2日にかけて、Fig. 7に示す内海中央域に、C-1から9、およびBG-1の10点を選んで調査した。調査結果はFigs. 10, 11に示した。

海況(Fig. 10)は水温・塩素量ともに上下層間の差はないか、または小さい。水温は低く7.5~11.9°C、

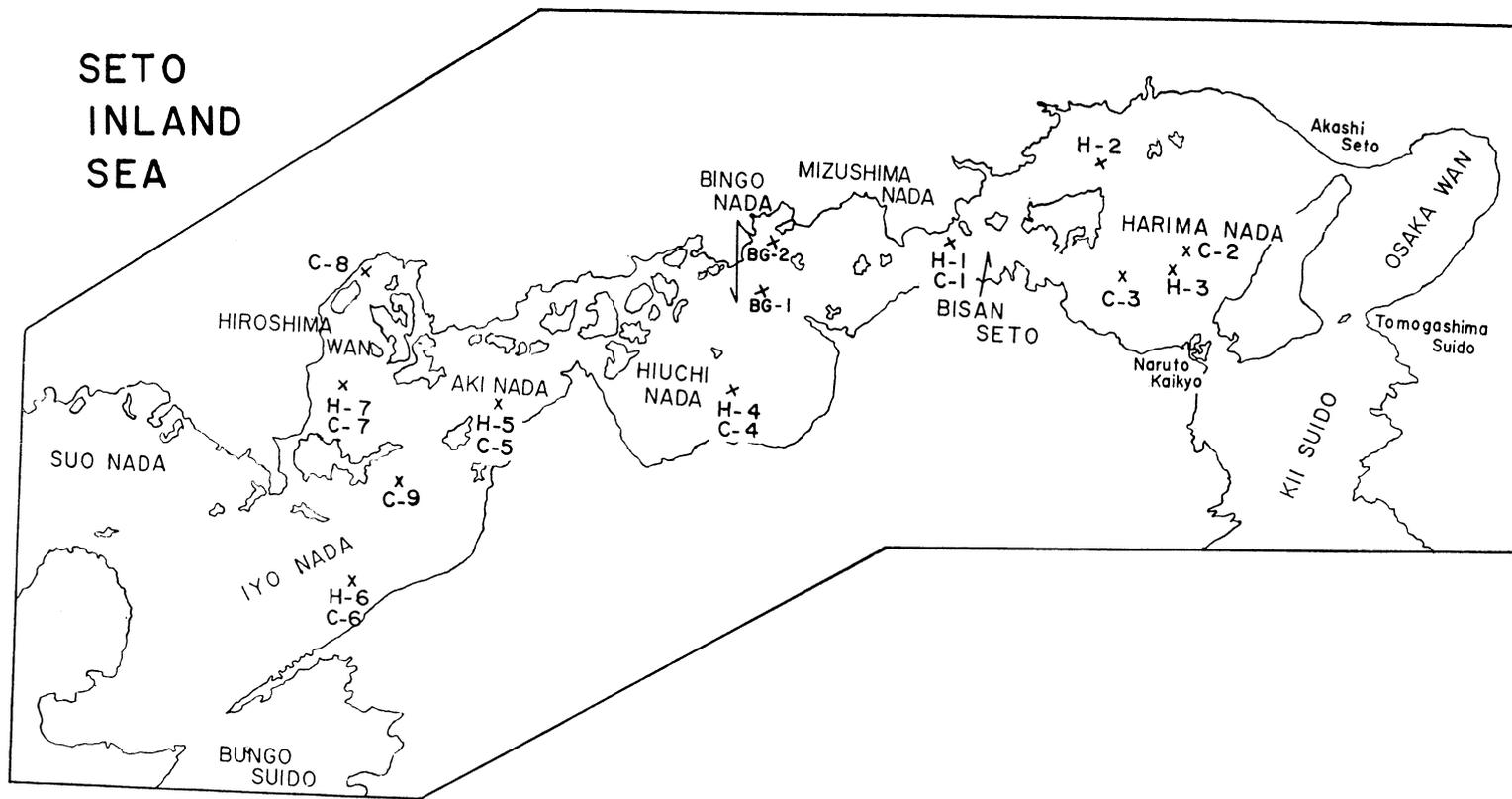


Fig. 7. Map showing the stations where the observations were carried out in September 1964 (H-1~7, BG-1), and in January 1966 (C-1~9, BG-1).

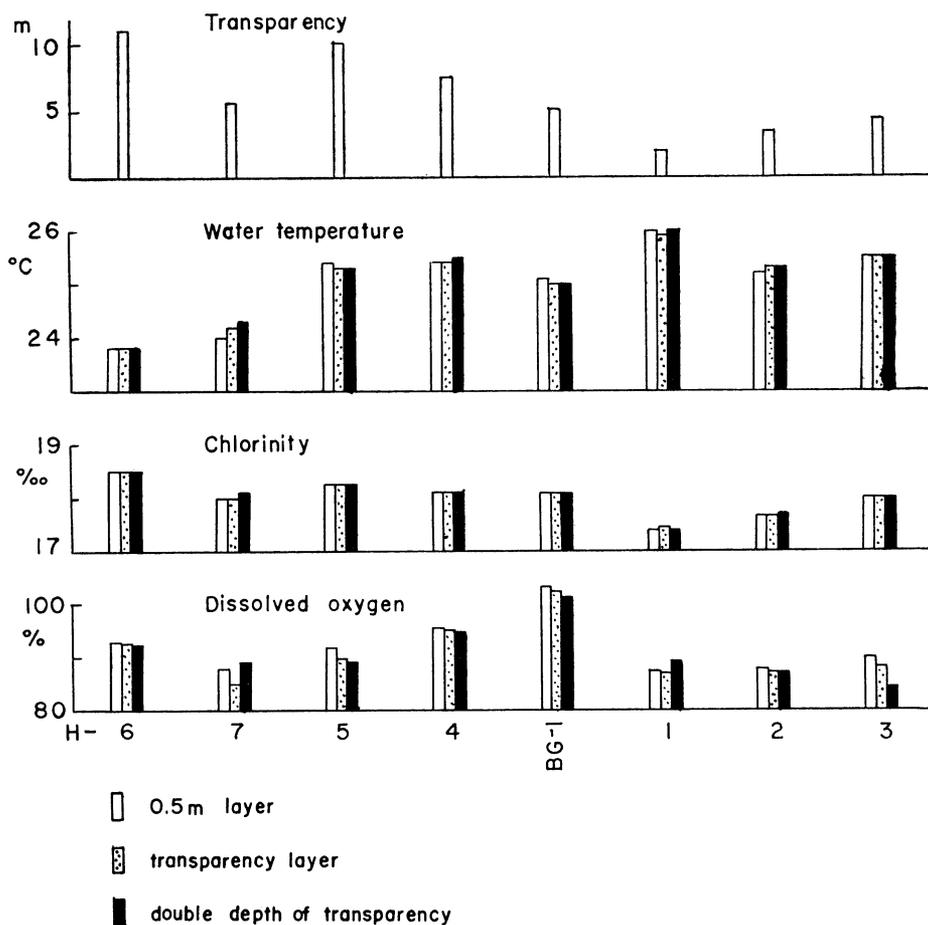


Fig. 8. Transparency (by the Secchi disk), water temperature, chlorinity and saturation percentage of dissolved oxygen at each of the stations in September, 1964.

塩素量はとくに値の低い C-8 の 0.5m 層をのぞき、17.80~18.62‰，溶存酸素量は 83~103%，透明度は 3.5~13m の範囲にあった。

C-1 (備讃瀬戸) は、水温が観測点中で最も低く、塩素量は低い、また透明度も最小であった。

東側の C-2, 3 (播磨灘) では、これより水温は高いが、塩素量は低かった。

西側には、BG-1 (備後灘)、C-4 (燧灘)、C-5 (安芸灘)、C-6, 9 (伊予灘) の順に、水温・塩素量ともに高くなっていく。

C-7, 8 (広島湾) は、C-5 より水温も塩素量も低い、とくに湾奥部の C-8 では 0.5m 層の塩素量が著しく低かった (15.34‰)。

透明度も、水温・塩素量の変化とほぼ同様の分布をし、それらが高くなると大きくなった。

クロロフィル a 量 (Fig. 11) は、1.02~5.11 mg/m<sup>3</sup> の範囲にあり、広島湾奥部 (C-8) では大きく、BG-1 で小さかった。

光合成量 (Fig. 11) は、1.37~10.52 mgC/m<sup>3</sup>/h で、クロロフィル a 量の多い C-8 の上の 2 層では大きな、その少ない BG-1 と C-7 では小さな値であった。

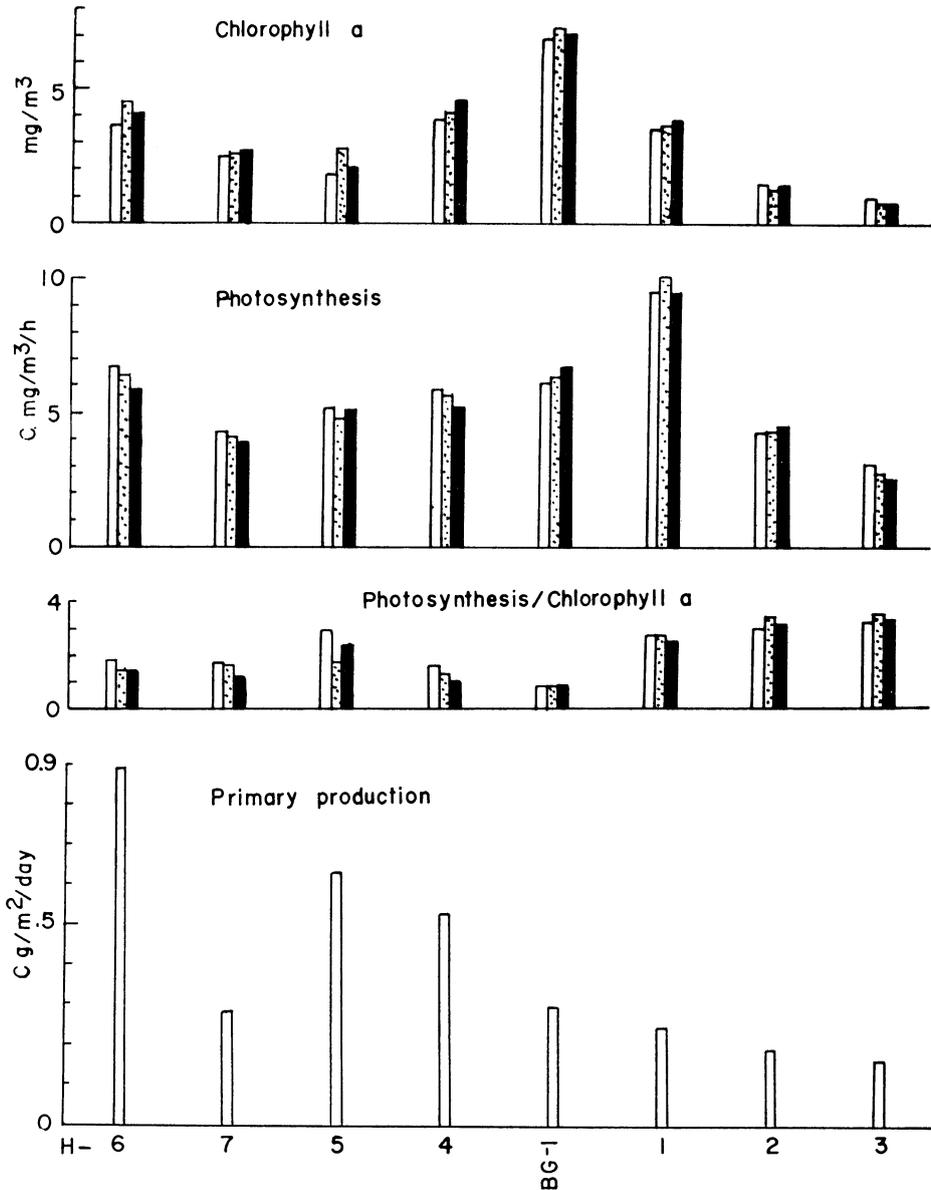


Fig. 9. Chlorophyll *a* content, photosynthesis, the ratio of photosynthesis to chlorophyll *a* and daily primary production at each station in September, 1964.

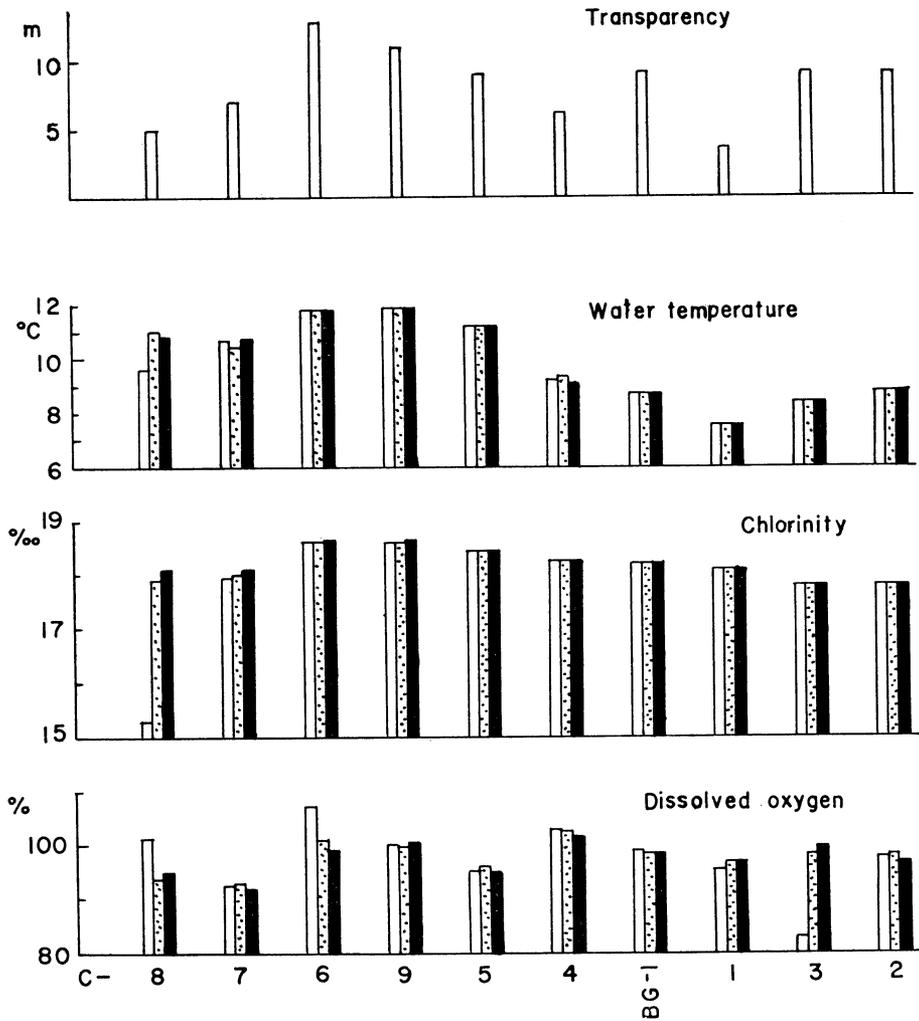


Fig. 10. Transparency (by the Secchi disk), water temperature, chlorinity and saturation percentage of dissolved oxygen at each station in January, 1966.

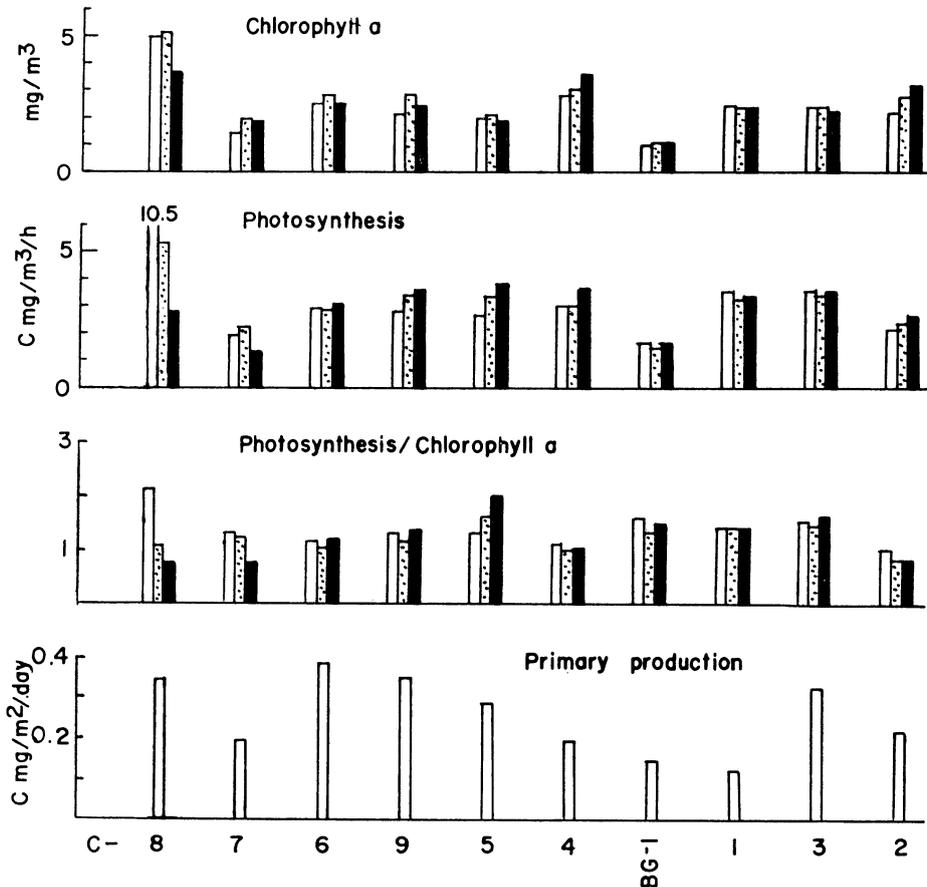


Fig. 11. Chlorophyll *a* content, photosynthesis, the ratio of photosynthesis to chlorophyll *a* and daily primary production at each station in January, 1966.

単位クロロフィル *a* 量当りの光合成量 (Fig. 11) は, 0.73~2.11 mgC/mg/h の範囲にあって, C-8 の 0.5 層がやや大きかった。

一次生産量 (Fig. 11) は, 0.12~0.39 gC/m<sup>2</sup>/day で, 平均は 0.26 gC/m<sup>2</sup>/day である。C-1 と BG-1 では小さく, 東の播磨灘 (C-2 と 3) ではそれより大きい。また, 西側へ C-4, 5, 9, 6 の順に大きくなり, C-7 は小さい。この分布は水温・塩素量, また透明度の変化と傾向が同じである。広島湾奥部 (C-8) では比較的大きな値がみられた。

#### (6) 備後灘の横断観測

1966年7月7日の漲潮時と, 8日の落潮時に, Fig. 12 に示した備後灘に1から4の4点 (全距離は約 20 km) を選んで調査した。なお, 観測層は 0.5 m 層と透明度深度層の 2 層である。調査結果は Figs. 13-15 に示した。

水温は漲潮時に 20.4~23.4°C, 落潮時に 20.8~23.3°C で, 両潮時ともに St. 1 (本州側) から St. 4 (四国側) にかけて低下していく, ただ St. 4 の 0.5 m 層のみは傾向を異にした。また, 一般に 0.5 m 層の水温は透明度深度層よりも高かった。

塩素量 (Fig. 13) は, 漲潮時が 16.60~17.68‰, 落潮時が 16.51~17.64‰ で, 分布は本州側 (St. 1) から四国側 (St. 4) にかけて増大していった。また透明度深度層の方が 0.5 m 層よりやや高い。

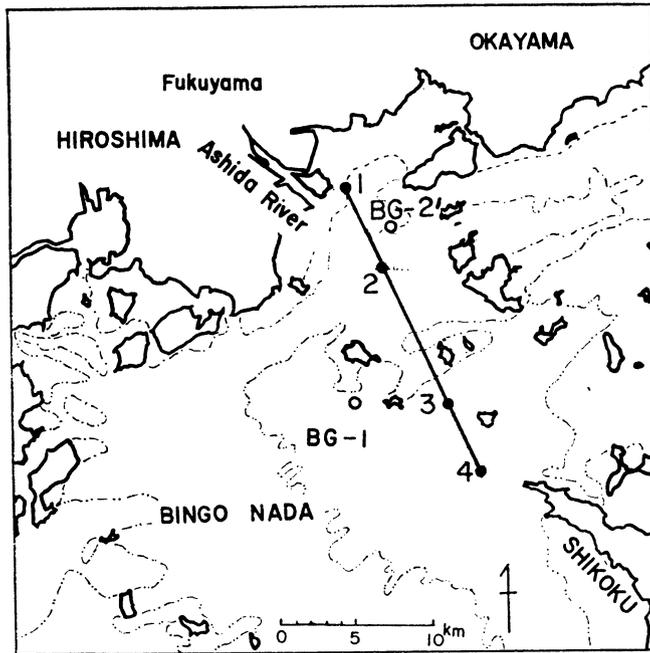


Fig. 12. Map of Bingo-nada showing the stations where the observations were carried out in July, 1966.

透明度は、4～7.5 m の範囲にあって、観測点で、また潮時によって変化した。

植物プランクトンは、落潮時の St. 4 の 0.5 m 層をのぞくと、*Skeletonema costatum* が優占種で、それぞれの総細胞の 93～99% であった。総細胞数 (Fig. 13) は、 $0.28\sim 41\times 10^6\text{cell/m}^3$  で、漲潮時には St. 1 と 3 の透明度深度層が、落潮時には St. 2 の 2 層と St. 3 の透明度深度層がやや多く、St. 4 は両潮時・両層ともに著しく少なかった。また、一般に透明度深度層の方が 0.5 m 層よりも多い。

クロロフィル *a* 量 (Fig. 14) は、 $1.37\sim 3.77\text{mg/m}^3$  の範囲にある。分布の様相は細胞数のそれに似ており、1 細胞当りの平均クロロフィル *a* 量 (Fig. 14) をみると St. 1 から 3 では、 $0.62\sim 1.8\times 10^{-9}\text{mg/cell}$  で、潮時による差はあるが同潮時内での変化は小さい。ただ、St. 4 では  $5.2\sim 50\times 10^{-9}\text{mg/cell}$  と著しく大きく、他と異なった。

光合成量 (Fig. 14) は、 $5.15\sim 12.81\text{mgC/m}^3/\text{day}$  で、漲潮時には St. 1 が他の観測点の同じ層よりも大きく、また、落潮時には St. 2 の 0.5 m 層が小さい。一般的に透明度深度層の方が値は大きかった。1 細胞当りの平均光合成量 (Fig. 15) は観測点や観測層によって変化した。ただ細胞数の少ない St. 4 では著しく大きな値を示した。

また、単位クロロフィル *a* 量当りの光合成量 (Fig. 15) は、 $1.9\sim 5.4\text{mgC/mg/h}$  であった。分布の様相は両潮時でまったく異なり、漲潮時には St. 1 から St. 4 にかけて低下していき、透明度深度層の方が値は大きい。落潮時には逆に St. 1 から St. 4 にかけては増大していき、0.5 m 層の方が大きい。

一次生産量 (Fig. 15) は、2 層の値から概算すると、7 日の漲潮時には  $0.42\sim 0.72\text{gC/m}^2/\text{day}$ 、平均 0.61 で、8 日落潮時には  $0.51\sim 0.86\text{gC/m}^2/\text{day}$ 、平均 0.69 であった。分布は漲潮時の St. 3 の低い値をのぞくと、St. 1 (本州側) から St. 4 (四国側) にかけて増大していき、これは塩素量や透明度の分布と一致する。

両日の生産量のうち最大値/最小値の比をみると 2.0 になり、短い距離の間で 2 倍もの変化がみられた。なお、全生産量の平均は  $0.65\text{gC/m}^2/\text{day}$  である。

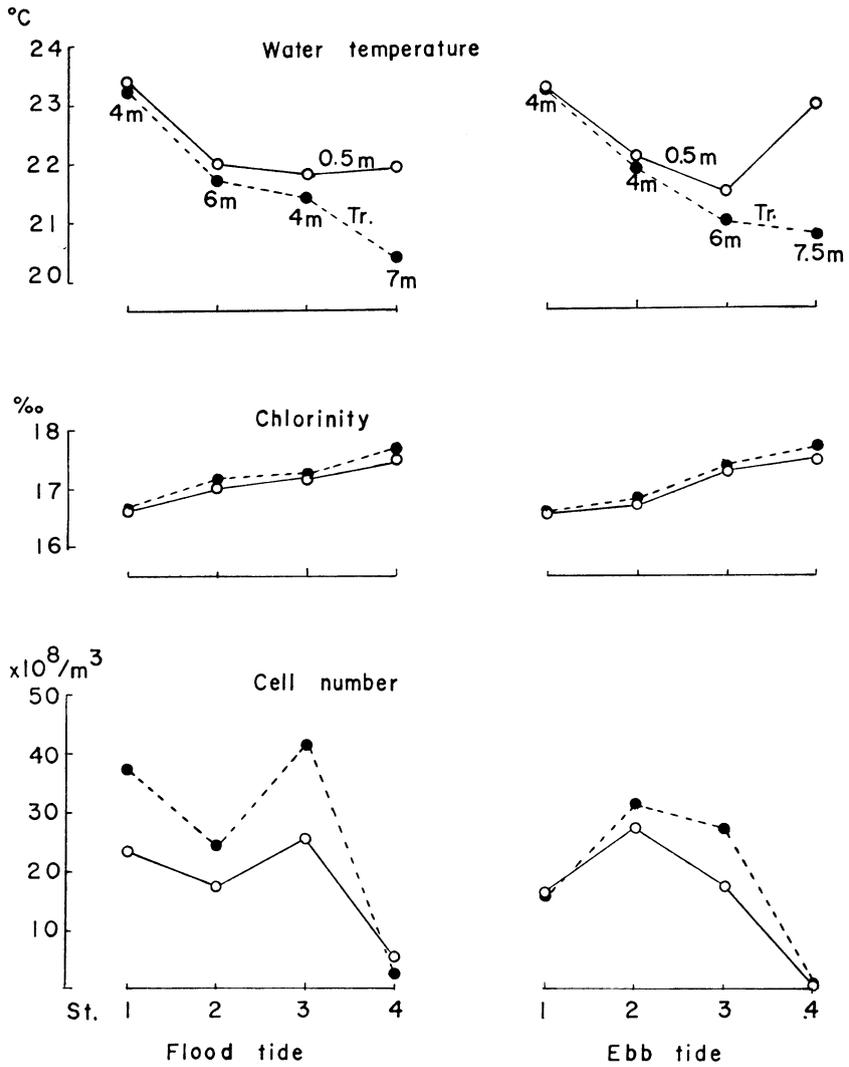


Fig. 13. Water temperature, chlorinity and cell number of phytoplankton at each station in Bingo-nada in July, 1966.

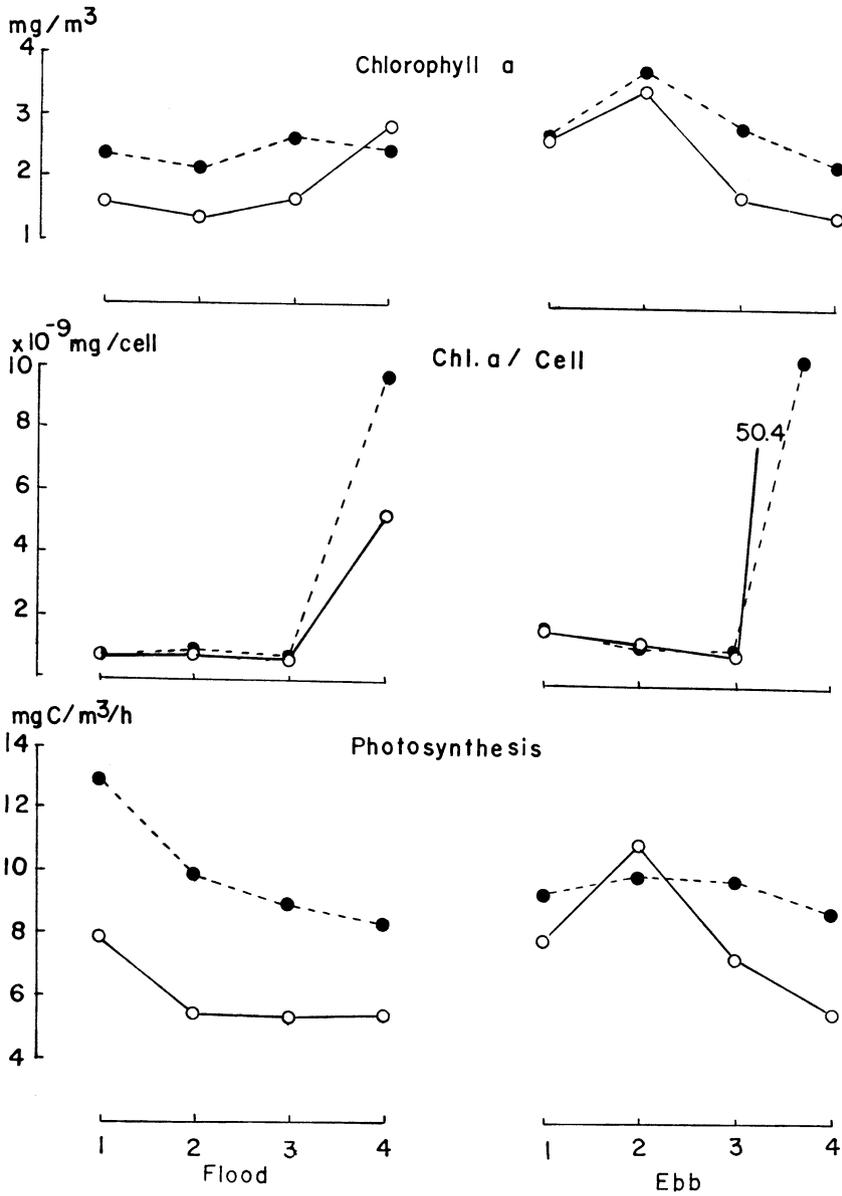


Fig. 14. Chlorophyll *a* content, chlorophyll *a* content per cell and photosynthesis at each station in Bingo-nada in July, 1966.

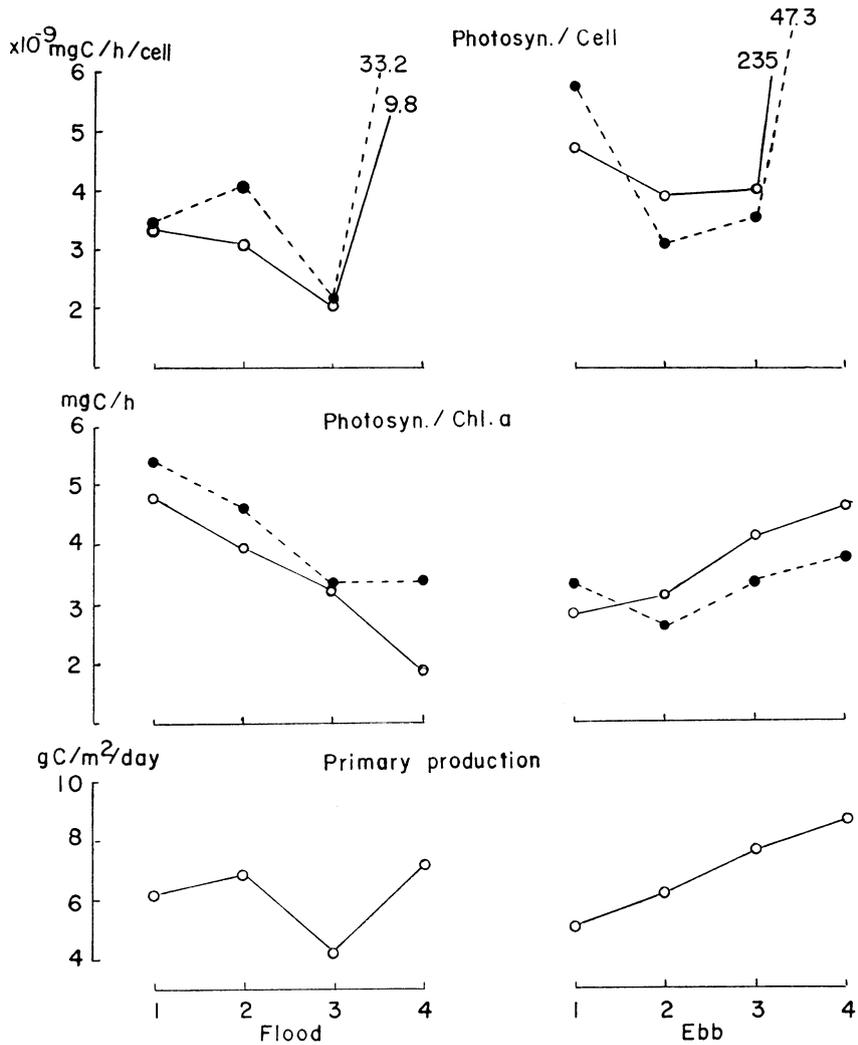


Fig. 15. Photosynthesis per cell, the ratio of photosynthesis to chlorophyll *a* and daily primary production at each station in Bingo-nada in July, 1966.

2) 考察

以上の調査では内海の塩素量は 14.86~18.64% の範囲にあった。その分布の様相はおおよそ、東は紀伊水道より大阪湾、播磨灘の順に低下していき、西は紀伊水道から伊予灘、安芸灘、燧灘・備後灘の順に低下していく、そして備讃瀬戸附近で最低値となる。また、広島湾は陸水の影響をうけて塩素量が低く、とくに湾奥部の表層で著しい。なお、冬季の値は夏季よりも全般的に高くなる。

水温は 7.5~26.0°C の範囲にあった。夏季には備讃瀬戸附近が最も高く、東や西にいくにしたがって順に低くなり、東の紀伊水道、西の豊後水道附近が最低、東西にはなれるにしたがって高くなる。備讃瀬戸附近の水温年較差は著しく大きい。

瀬戸内海は、備讃瀬戸附近が紀伊水道系の水と豊後水道系の水の影響の末端合流点になっているといわれるが<sup>25,32,36)</sup>、上述の結果もこれと一致し、同瀬戸附近で塩素量は低く、水温の年較差は大きくて、両水道系の水の影響が小さい。

また、透明度は 2~18m と著しく小さく、季節による変化は明らかでない。分布は各月とも伊予灘ではやや大きく、東へ安芸灘、燧灘・備後灘の順に小さくなり、その東側の備讃瀬戸では最小となる。また播磨灘と広島湾では値は小さいという傾向がみとめられる。これは水温・塩素量の分布と似ているが、

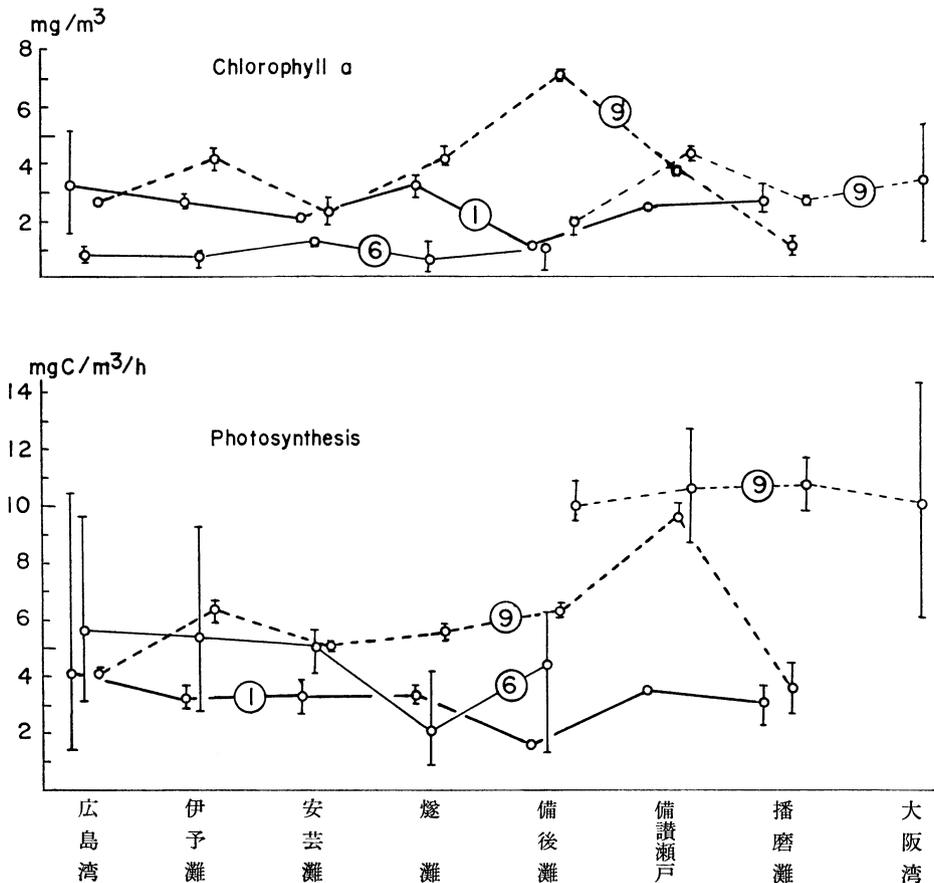


Fig. 16. Chlorophyll *a* content and photosynthesis in each region\*. The points are mean value with vertical lines representing the range.  
 1: January 1966, 6: June 1963, 9: September 1963, 9': September 1964.  
 (\* left to right; Hiroshima-wan, Iyo-nada, Aki-nada, Hiuchi-nada, Bingo-nada, Bisan-seto, Harima-nada, Osaka-wan)

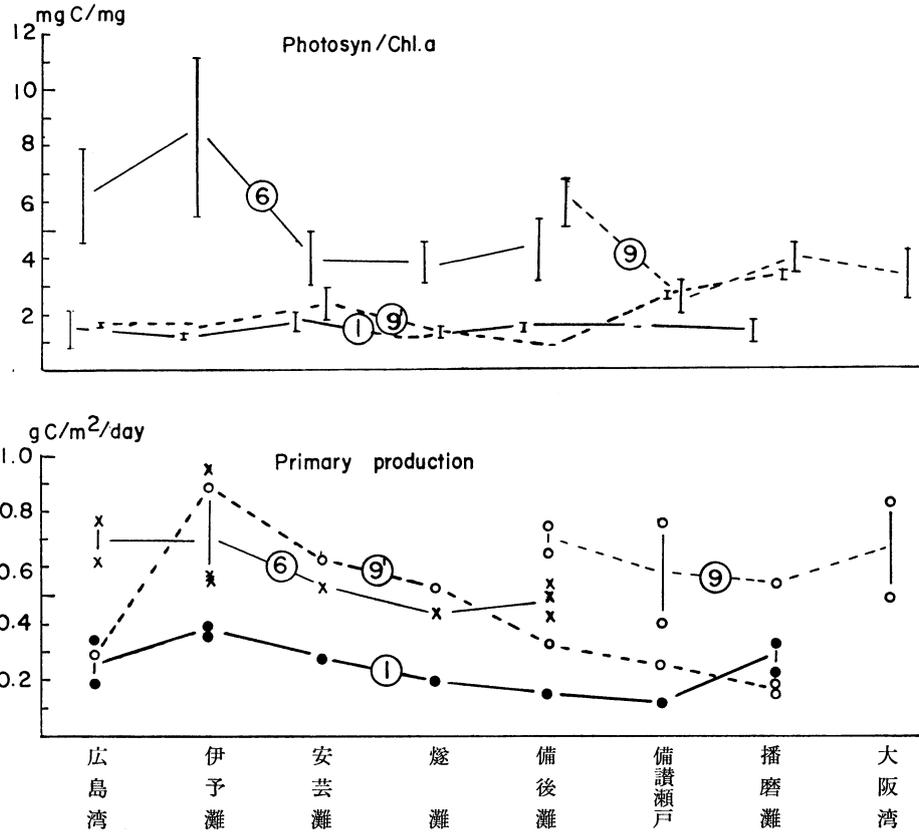


Fig. 17. The ratio of photosynthesis to chlorophyll *a* and daily primary production in each region. The points are mean value with vertical lines representing the range.

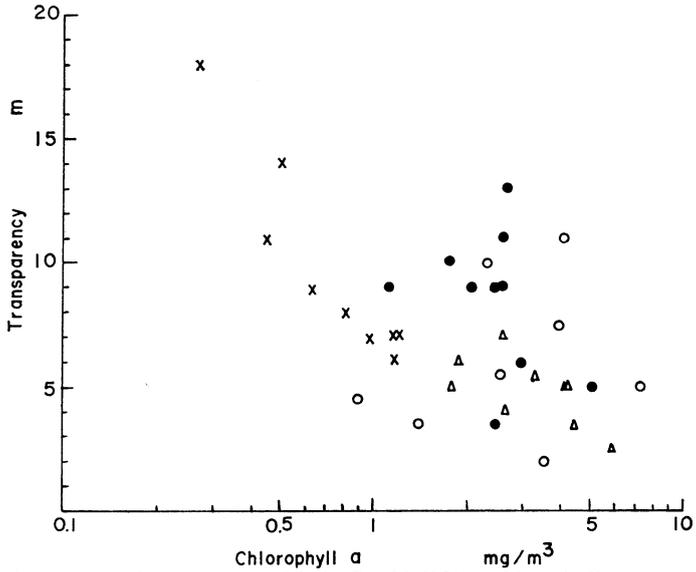


Fig. 18. Correlation of transparency (by the Secchi disk) to chlorophyll *a* content\*. (\* the mean for the 0.5m layer and the depth of transparency)

必ずしも一致はしない。

クロロフィル *a* 量および光合成量を、水域ごとにまた月別にまとめると Fig. 16 になる。なお、播磨灘で観測した赤潮の値はのぞいた。

クロロフィル *a* 量 (Fig. 16) は、 $0.21 \sim 7.28 \text{ mg/m}^3$  の範囲にあり、6月の値は1, 9月に比べて全般に小さい。水平分布の様相は月によって異なり、また水域の特異性も明瞭でない。なお、クロロフィル *a* 量と透明度の関係をみると、Fig. 18 のように複雑で、SAIJO and ICHIMURA<sup>39)</sup> が黒潮や親潮水域でみた直線的な相関は認められない。

光合成量 (Fig. 16) は、 $0.96 \sim 17.14 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$  の範囲にあった。1月の値はクロロフィル *a* 量が比較的多いにもかかわらず全般的に低く、これは水温の低いことによる。水域の特異性は明らかでない。

単位クロロフィル *a* 量当りの光合成量 (Fig. 17) は、 $0.73 \sim 11.1 \text{ mgC/mg/h}$  の範囲にあって、6月の内海西半分と9月の東半分の水域の値は大きく、また、1月の値は光合成量と同様に小さい。

一次生産量 (Fig. 17) は、 $0.12 \sim 0.95 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  の範囲にある。生産量は季節によって変動し、1月の値は全般に小さい。また、同じ月であっても一つの灘の内において値はかなり異なり、備後灘でみたように狭い範囲内でも値は著しく変化する。しかし、内海全体を通してみるとその分布は、各月とも中央水域の備讃瀬戸で値が小さく、西へ備後灘、燧灘、安芸灘、伊予灘の順に大きくなり、広島湾は伊予灘より小さい、また東の播磨灘・大阪湾は備讃瀬戸と同程度かやや大きいという大体の傾向がみとめられる。この分布の傾向は内海の透明度の一般的な分布様式に似ている。透明度は、これによって表わされる濁りが海中の光条件をきめ生産層の厚さを限定する。したがって生産量を規定する要因の一つとなっている。また、透明度の分布様式は水温・塩素量の分布様式と類似するので、生産量の分布の傾向が水温・塩素量の分布様式と似ていることもある。

このように、クロロフィル *a* 量と光合成量はともに季節によって異なり、また水域によってかなりの相違があらわれた。しかも、これらの水平分布は水温や塩素量などから識別される水塊の分布とは必ずしも一致せず、独自の分布型を示すことが多い。したがって、光合成量 (光合成の活性) と透明度によって規定される生産量も、季節や水域によってかなりの相違がみられる。その分布は透明度のそれにやや近いが、光合成の水域による差異が大きく水塊の分布とは必ずしも一致しない。これらのことは、内海における、栄養塩など海況の諸要素の複雑性を示す一面であるといえよう。

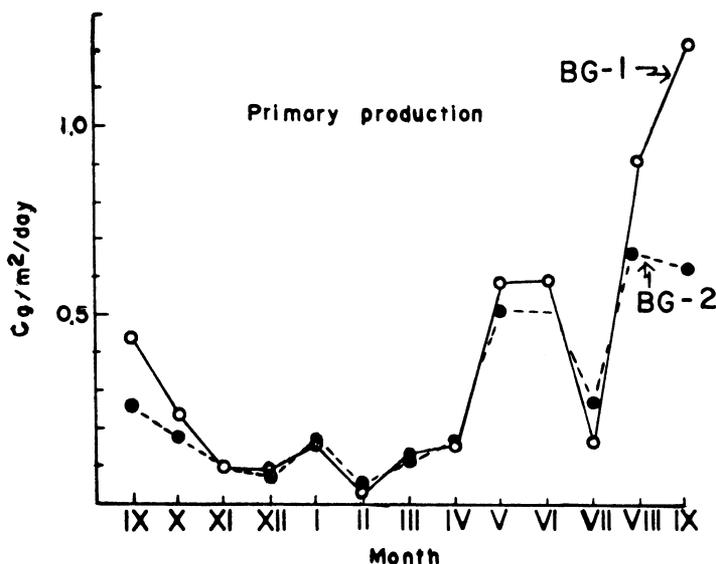


Fig. 19. Seasonal changes of daily primary production at the stations in Bingo-nada, 1962-1963.

4 季節変動

この項については既に詳しく報告<sup>54)</sup>した。その大要については、VI 要約 5) で述べる。

ただ、一次生産量については、その後算出方法に検討を加え、変更したので値が若干変わった。すなわち、Fig. 19 にみるように、BG-1 では 0.03~1.21 gC/m<sup>2</sup>/day, 平均 0.33 で、BG-2 では 0.04~0.63 gC/m<sup>2</sup>/day, 平均 0.25 であった。両定点ともほぼ同様の季節変動をして、光合成量の大きい夏季の 5, 6, 8, 9 月に大きく年間の最高値は BG-1 では 9 月, BG-2 では 8 月に観測された。最低値は両定点とも水温が最低である 2 月にみられた。両定点の値を比較すると、生産量の大きい季節には BG-1 の方が大きかった。これは BG-1 では光合成量がやや小さいにもかかわらず、透明度が大きくて生産層が厚かったことによる。他の月では両定点間の差は小さかった。

IV 植物プランクトンとその増殖

1 植物プランクトンの水平分布と季節変動

一次生産量の水平分布と季節変動を調査した際に、この生産の主体をなす植物プランクトンの種類組成(ここでは属の組成についてのみ述べる)と細胞数について調べた。

(1) 6月の植物プランクトン

この調査結果については既に報告<sup>57)</sup>した。なお、総細胞数は 0.36~74×10<sup>7</sup> cell/m<sup>3</sup> の範囲にあり、優占した属は表 3 に示した。

(2) 9月の植物プランクトン—内海東部および中部水域

この調査結果についても既に報告<sup>57)</sup>した。なお、総細胞数は 12~550×10<sup>7</sup> cell/m<sup>3</sup> の範囲にあって、優占した属は表 3 に示した。

表 3. 植物プランクトン相

	6 月	9月-I	9月-II	1 月
豊後水道	<i>Chaeto.</i>	—	—	—
広島湾	<i>Chaeto.</i> ( <i>Leptoc.</i> ) ( <i>Skelet.</i> )	—	<i>Thalas.</i> <i>Skelet.</i>	<i>Coscin.</i> ( <i>Skelet.</i> )
伊予灘	<i>Leptoc.</i> <i>Skelet.</i>	—	<i>Thalas.</i>	<i>Coscin.</i>
安芸灘	<i>Skelet.</i>	—	<i>Thalas.</i>	<i>Coscin.</i>
燧灘	<i>Skelet.</i>	—	<i>Pleuro.</i> <i>Coscin.</i>	<i>Eucamp.</i>
備後灘	<i>Skelet.</i>	<i>Thalas.</i>	<i>Thalas.</i> <i>Pleuro.</i>	<i>Eucamp.</i>
備讃瀬戸	—	<i>Chaeto.</i> <i>Thalas.</i>	mix.	<i>Eucamp.</i>
播磨灘	—	<i>Thalas.</i> <i>Chaeto.</i> ( <i>Goniau.</i> )	<i>Thalas.</i>	<i>Skelet.</i> <i>Eucamp.</i> ( <i>Coscin.</i> ) ( <i>Thalas.</i> )
大阪湾	—	<i>Skelet.</i>	—	—
紀伊水道	—	<i>Thalas.</i>	—	—

cf. *Chaetoceros*                      *Thalassiosira*                      *Skeletonema*  
*Leptocylindrus*                      *Coscinodiscus*                      *Pleurosigma*  
*Eucampia*                              *Goniaulax*

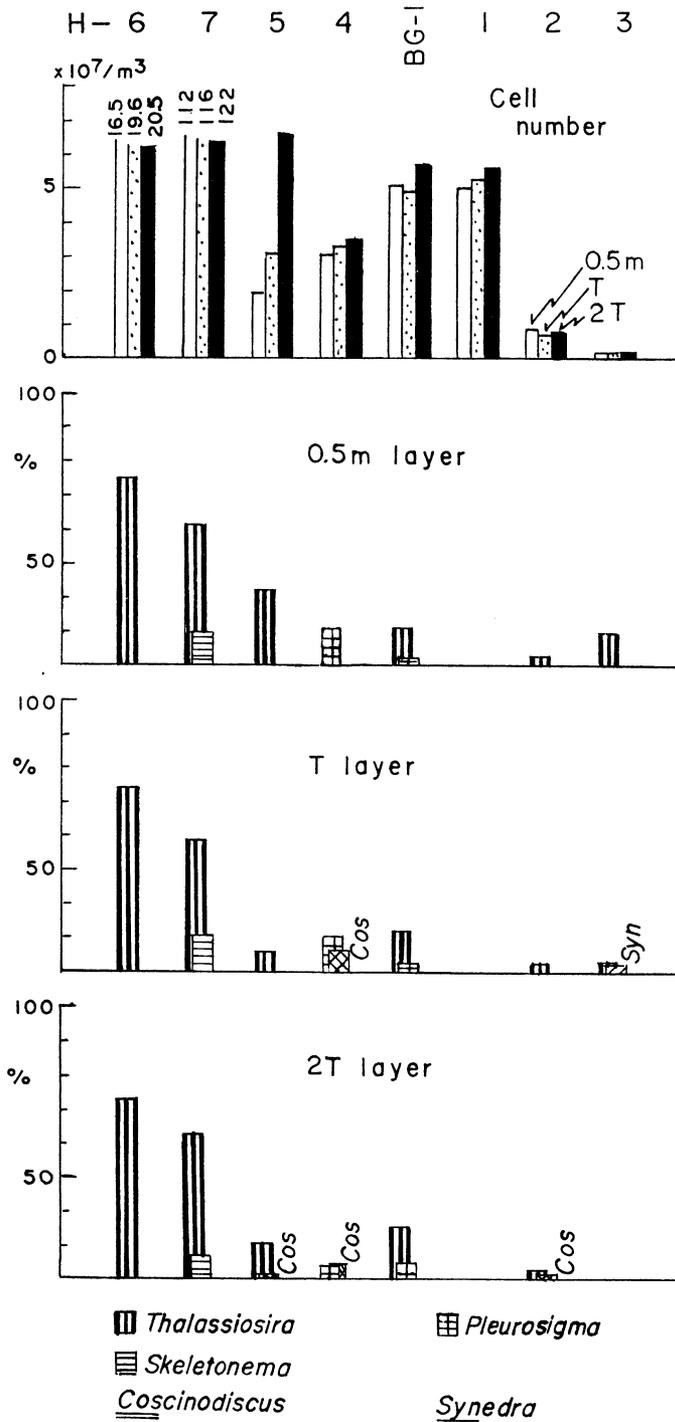


Fig. 20. Cell number and genus composition of the phytoplankton at each station in September, 1964.

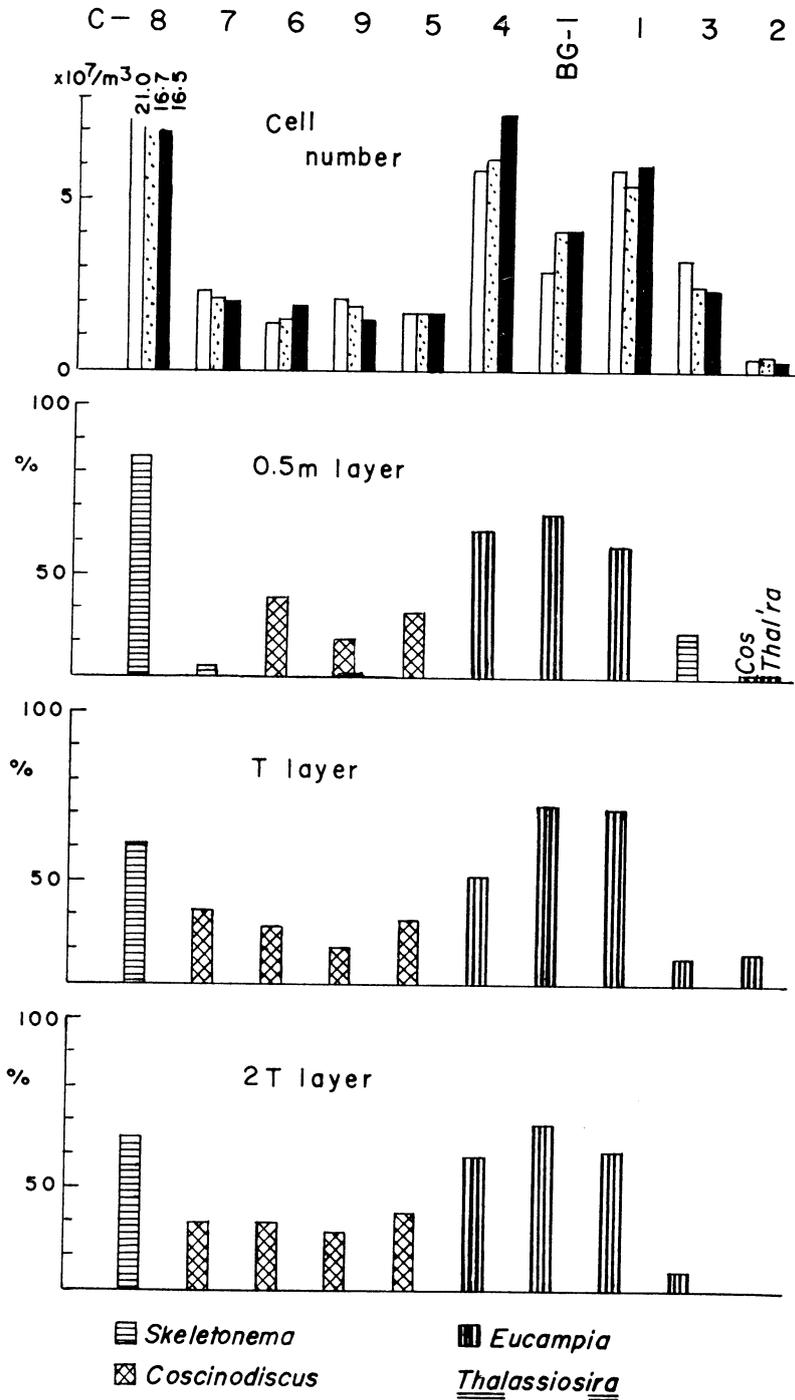


Fig. 21. Cell number and genus composition of the phytoplankton at each station in January, 1966.

## (3) 9月の植物プランクトン—内海中央域

総細胞数 (Fig. 20) は、 $1.8 \sim 12 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  で、広島湾 (H-7)、ついで伊予灘 (H-6) では多く、播磨灘 (H-2, 3) では少なかった。

属の組成 (Fig. 20, 表3) は、細胞数の多い広島湾 (H-7) と伊予灘 (H-6) では *Thalassiosira* が優占し、前者ではこの他に *Skeletonema* も多数出現した。安芸灘 (H-5) では *Thalassiosira* が、燧灘 (H-4) では *Pleurosigma* と *Coscinodiscus*、備後灘 (BG-1) では *Thalassiosira* と *Pleurosigma* が優占した。備讃瀬戸 (H-1) ではとくに優占した種類はなく、播磨灘 (H-2, 3) では *Thalassiosira* が総細胞数の20%程度出現した。

一般的に *Thalassiosira* が出現したが、2海域をのぞいては、その占める率は高くなく、他の種類も比較的によく出現した。なお、渦鞭毛藻類は少なかった。

## (4) 1月の植物プランクトン

総細胞数 (Fig. 21) は、 $0.38 \sim 21 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  で、広島湾奥部 (C-8) で多く、播磨灘中央部 (C-2) で少なかった。

属の組成 (Fig. 21, 表3) は、広島湾奥部 (C-8) では *Skeletonema* が優占し、伊予灘 (C-6, 9)、安芸灘 (C-5)、および広島湾沖側 (C-7) では *Coscinodiscus* が、また、燧灘 (C-4)、備後灘 (BG-1)、および備讃瀬戸 (C-1) では *Eucampia* が優占した。播磨灘の南部 (C-3) では0.5m層に *Skeletonema* が多数出現し、下の2層には *Eucampia* が優占したが率はやや小さい。また中央部 (C-2) では *Coscinodiscus*、*Thalassiosira*、*Eucampia* などが出現した。

なお、渦鞭毛藻類は全般に細胞数が少なかった。

## (5) 備後灘における植物プランクトンの季節変動

この調査結果については既に報告<sup>55)</sup>した。なお、総細胞数は  $1.3 \sim 440 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  の範囲にあって変動し、*Chaetoceros*、*Skeletonema* の優占することが多く、また *Eucampia*、*Leptocylindrus* も優占種となった。

## (6) 考察

総細胞数は、 $10^6 \sim 10^9 \text{ cell/m}^3$  の範囲にあって、日本の沿岸でみられる量<sup>27)</sup>と同程度である。

種類組成は、沿岸性の珪藻類がその中心をなし、卓越種としては *Skeletonema*、*Chaetoceros*、*Thalassiosira*、*Leptocylindrus* 属がしばしば出現し、また、*Coscinodiscus*、*Eucampia* 属なども出現した。これらはすでに内海において報告されているもので、本邦沿岸で知られているもの<sup>27)</sup>と似ている。

ただ、これらの組成ならびに量は、水域で異なり、また季節的の変動が著しい。

また、内海では一時的ではあるが、珪藻以外の種類が大増殖する場合もしばしばある。

2 *Exuviaella* の大増殖

1963年9月に播磨灘で *Goniaulax polygramma* による赤潮を観測した。また、1965年9月には備後灘において、渦鞭毛藻類の *Exuviaella* sp. が赤潮状態を呈するほどの大増殖をし、その様相をとらえることが出来た。すなわち、定点 BG-1 で、9月8、15、20、28日の4回観測し、観測深度は0.5m、透明度の1/2深度、透明度深度、および透明度の2倍深度をとった。結果は、Figs. 22-26 に示した。

## (1) 調査結果

各観測において植物プランクトンは、*Exuviaella* sp. が主体をなし、総細胞数の72~91%を占めた。総細胞数 (Fig. 24) は  $7.0 \sim 66 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  の範囲にあって増減し、その様相は各層とも、8日から15日にかけて増加し、さらに20日には著しく多くなった、そして28日には減少した。それぞれの日で細胞数の深度による差は小さかった。ただ、20日の0.5m層はそれらとやや異なった変化をし、下層に比べて少なかった。

水温 (Fig. 22) は、 $23.8 \sim 25.5^\circ\text{C}$  の範囲で、日をおって徐々に下降した。

塩素量 (Fig. 22) は、 $14.30 \sim 17.91\%$  の範囲にあって、15日にやや減少し、20日にはさらに減少した、とくに0.5m層で著しかった。これは14~17日の降雨の影響である。28日には各層ともに回復したが、15日の値よりは低い。なお、20日0.5m層における細胞数の特異性は、この低塩素量水とも関連するの

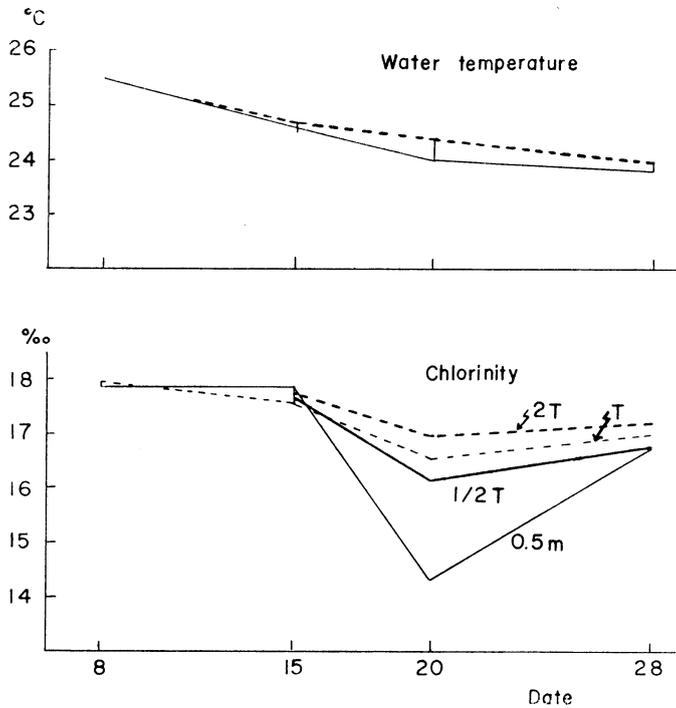


Fig. 22. Change of water temperature and chlorinity at the station in Bingo-nada in September, 1965.

であろう。

栄養塩のうち Silicate-Si (Fig. 23) は、 $19\sim 35\ \mu\text{g-at./l}$  で変化は小さく、ただ塩素量の低い 20日 0.5m 層で他よりやや大きい値がみられた。Phosphate-P (Fig. 23) は、 $0.05\sim 0.42\ \mu\text{g-at./l}$  で、透明度の 2 倍深度層をのぞいては変化が大きく、各層とも前半の 8, 15 日には多くて、後半の 20, 28 日には少なかった。Nitrate-N (Fig. 23) は、 $0.35\sim 1.5\ \mu\text{g-at./l}$  で、各層ともに変化が大きくて、15 日に急激に減少し、その後は徐々に増加していった。この変化は P のそれとは異なる。

クロロフィル *a* 量 (Fig. 24) は、 $1.84\sim 13.45\ \text{mg/m}^3$  の範囲にあって変化し、各層とも 8 日から 15 日にかけて増加、さらに 20 日にかけて著しく増加した。そして 28 日には減少した。この変化は細胞数のそれとよく似ている。それぞれの日で深度による差は小さく、20 日 0.5m 層の特異性はみられなかった。

光合成量 (Fig. 24) は、 $16.9\sim 97.4\ \text{mgC/m}^3/\text{h}$  で、各層とも 15 日にかけて増加し、20 日にはさらに増加した。ただ 20 日の 0.5m 層の値は同じ日の他の値よりやや小さく、透明度深度の値は大きい。28 日には減少した。細胞数・クロロフィル *a* 量の変化とよく似ている。

## (2) 考察

この 9 月の日射量は岡山市の値でみると、Fig. 25 のように、 $88\sim 533\ \text{gcal/cm}^2/\text{day}$  と著しく変動している。また、月平均値は  $331\ \text{gcal/cm}^2/\text{day}$  と前後 6 ケ年の平均 369 よりやや小さい。日射量と細胞数増減など生産との関連は明らかでないが、ただ 14~17 日にかけての大量の降雨と、それにつづく 18, 19 日の強い日射とが、20 日にみられた大増殖に関連したことは考えられる。

また、栄養塩の変化 (Fig. 23) は複雑で、15 日にはまず Nitrate-N が減少し、20 日には Phosphate-P に減少がみられた。これらの変化と生産との関係は明らかでないが、Nitrate-N は初期の 15 日にプランクトンの摂取によって減少し、中期の 20 日には塩素量の低下にともなって十分な補給があったか、また

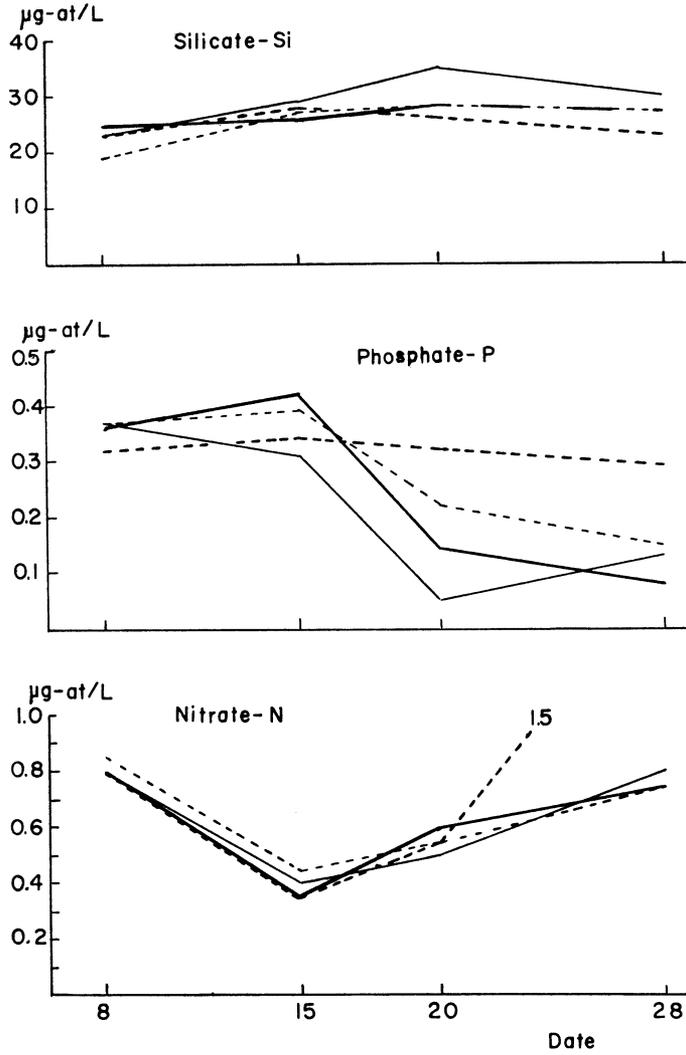


Fig. 23. Change of silicate, phosphate and nitrate at the station in Bingo-nada in September, 1965.

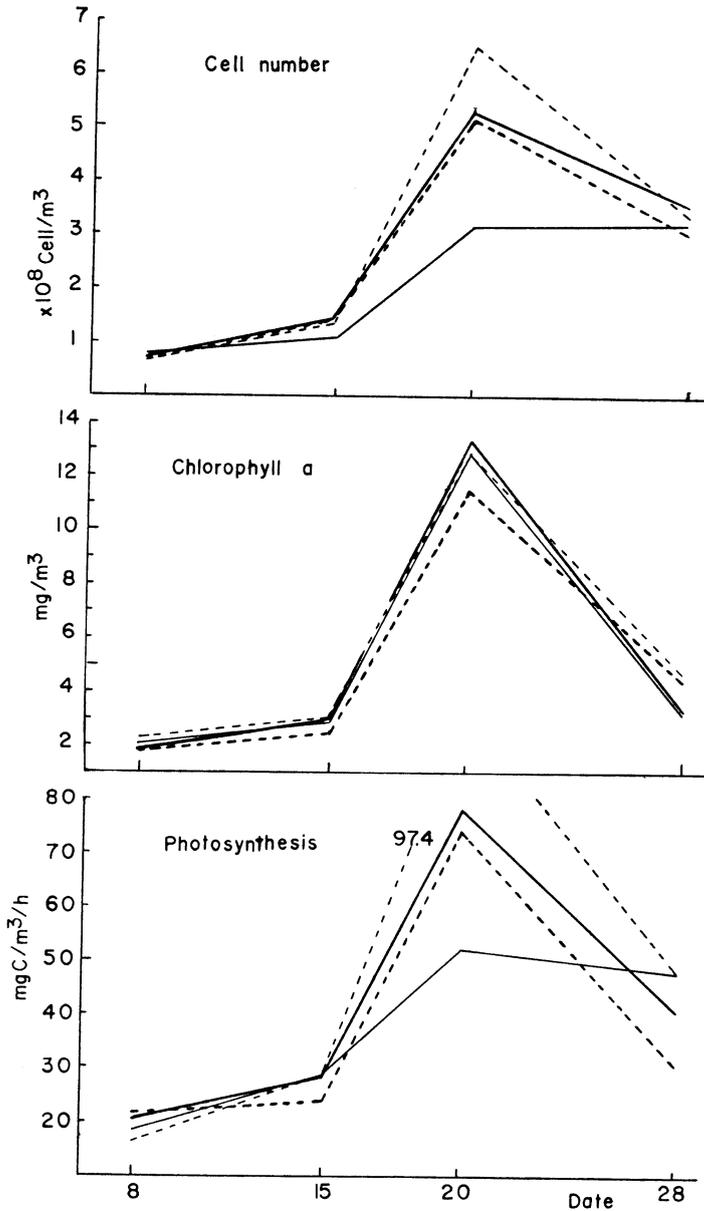


Fig. 24. Change of cell number of phytoplankton, chlorophyll *a* content and photosynthesis at the station in Bingo-nada in September, 1965.

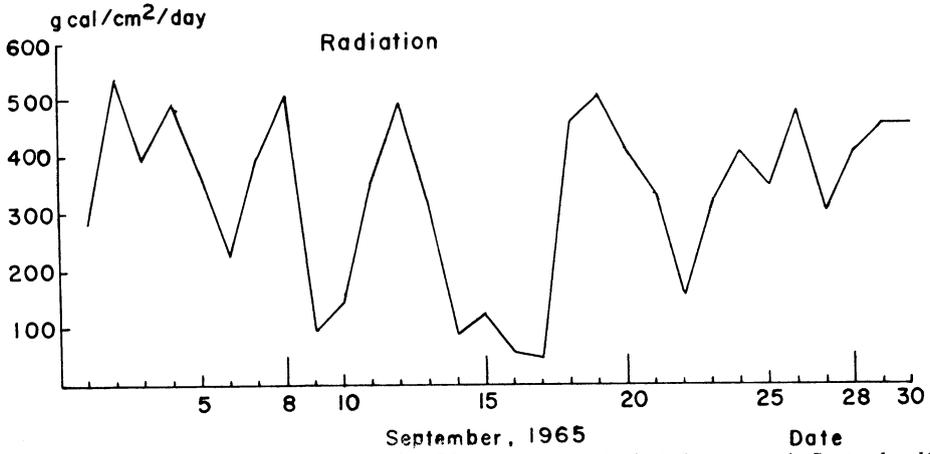


Fig. 25. Change of solar radiation measured at Okayama meteorological observatory in September, 1965.

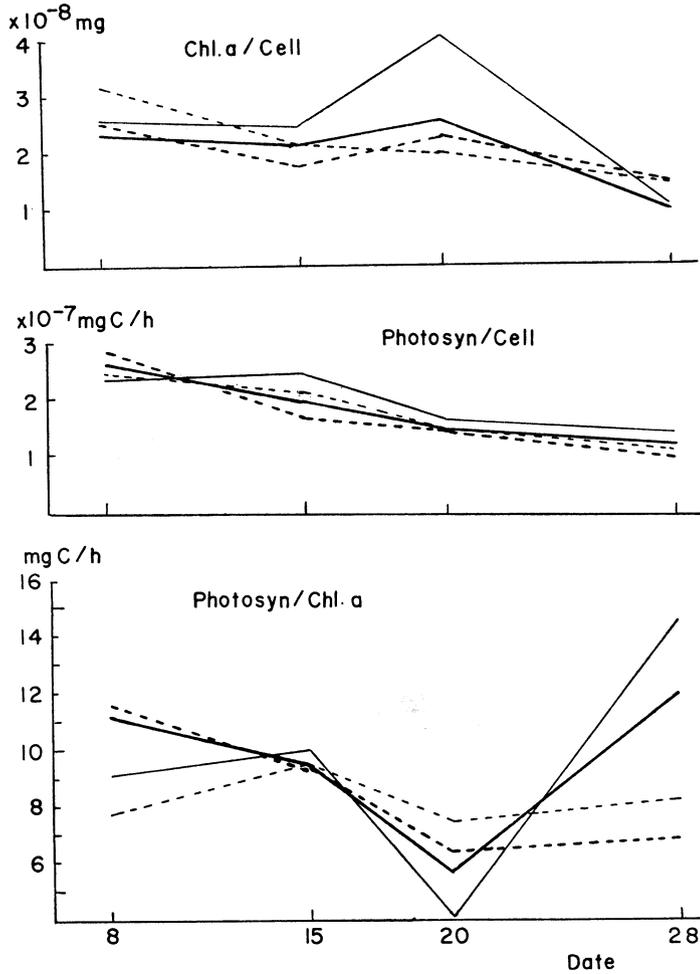


Fig. 26. Change of chlorophyll *a* content per cell, photosynthesis per cell and the ratio of photosynthesis to chlorophyll *a* at the station in Bingo-nada in September, 1965.

は他の窒素源をプランクトンが利用したなどのために減少しなかったと考えられる。また, Phosphate-P は 15 日にはプランクトンが細胞内に貯蔵していた磷を利用したために減少がみられず, 20 日にはそれを利用しつくして海水中より摂取したため, 海中のそれが減少したと考える。これらの栄養塩の減少量 (植物プランクトンの摂取量とみなす, 4 層の平均値) とクロロフィル *a* の増加量 (4 層の平均値) の比をみると, 8 日から 15 日にかけての Nitrate-N/chl. *a* は 6.6, 15 日から 20 日への Phosphate-P/chl. *a* は 0.58 となった。これは McALLISTER et al.<sup>29)</sup> や ANTIA et al.<sup>1)</sup> が培養した植物プランクトンで得た組成比 (N/chl. *a* = 7 ± 3, P/chl. *a* = 0.75 ± 0.2) と一致する。なお, 栄養塩については添加効果の実験をあわせて行なったが, これについては後に述べる。

1 細胞当たり平均のクロロフィル *a* 量 (Fig. 26) は,  $0.96 \sim 4.05 \times 10^{-8}$  mg/cell で, 細胞数の変化が特異だった 20 日 0.5 m 層ではとくに大きな値がみられた。その他では最大値/最小値の比は 3.3 で, 細胞のクロロフィル *a* 含量に変化はみられるが, 細胞数やクロロフィル *a* 量の変化に比べると小さく, 細胞数の増減にクロロフィル *a* 量がよく同調していた。

また, 1 細胞当たりの平均光合成量 (Fig. 26) は,  $1.00 \sim 2.62 \times 10^{-7}$  mgC/cell/h で, 変化は比較的に小さく, 日を追って減少する傾向がみられた。

単位クロロフィル *a* 量当たりの光合成量 (Fig. 26) は, 4.05 ~ 14.7 mgC/mg/h で, 日によって著しく変化し, また同一の観測日でも深度によって異なった。ただ, 塩素量が低下し, また細胞数やクロロフィル *a* 量が著しく増加した 20 日の値は, それ以前の値より低く, とくに 0.5 m 層と透明度の 1/2 深度層では著しく低くて, “クロロフィル *a* の光合成活性” が小さい。

### (3) 増 殖 率

クロロフィル *a* 量および細胞数の増殖率 *k* を, 式  $dP/dt = kP$  より求める。P は 4 層の平均値 (ただし, 20 日の細胞数については 0.5 m 層の値をのぞく) を用い, *t* としては日をと, 1 日当たりの平均増殖率を求めると, 次の表になる。

表 4. *Exuviaella* sp. の平均増殖率

	一日当たりの平均増殖率		細胞数が 2 倍になるに要する日数
	クロロフィル <i>a</i> 量	細 胞 数	
8 ~ 15 日	0.053	0.086	8.06
15 ~ 20 日	0.296	0.283	2.45
20 ~ 28 日	-0.146	-0.068	—

最も大きい 15 ~ 20 日の細胞数の 1 時間当たりの平均増殖率は 0.012 となる, STRICKLAND<sup>45)</sup> によると海産プランクトンでは最適条件下で, 0.02 ~ 0.15/h であり, 当然のことながらこれより小さい。しかし, 鳥海の総述<sup>49)</sup> によると, *Exuviaella* は培養で分裂に要する日数が 1.7 ~ 2.5 日であり, 15 ~ 20 日の増殖率はこれに近い。

次に, この 1 日当たりの細胞数の増殖率 *k* を, 光合成量 P から試算してみる。

$$k = P \times \frac{P_{in\ situ}}{P_{tank}} \times \frac{\text{cell vol.}}{\text{carbon contg.}} \times \frac{1}{\text{cell vol.}} \times \frac{1}{\text{cell no.}}$$

$P_{in\ situ}/P_{tank}$  は, 現場での 1 日の生産量に換算するため, 28 日の定点と 7, 14 日の定点近くの観測点で実測した生産量と光合成量の比をと, それらの平均値 3.09 を用いた。この値は一次生産量の計算式からは 9 月の可照時間の 1/2, 6.25 となるが, 前者の値を用いた。

cell vol./carbon contg. は, 炭素量から細胞の体積への換算で, 細胞の単位体積当たりの炭素含有量の逆数である。MULLIN et al.<sup>31)</sup> の値から, 種類の近い *Peridinium* (vol. = 8,250  $\mu^3$ , vol./carbon = 6.5) と *Goni-aulax* (vol. = 16,800  $\mu^3$ , vol./carbon = 16.9) の平均に近い 10 をとった。

cell vol. は、1細胞の体積で、*Exuviaella* の実測した長さから計算して、 $115 \times 10^{-7} \text{ mm}^3 (=11,500 \mu^3)$  となった。

cell no. は、植物プランクトンの総細胞数 cell/m<sup>3</sup> で、ここでは光合成量 P mgC/m<sup>3</sup>/h と組合せて、P/cell no. すなわち1細胞当りの平均光合成量として、4層の平均値を用いた。

その結果、増殖率 k は 8, 15, 20, 28日の順に、0.69, 0.55, 0.41, 0.32 となった。

これらの値は増殖初期の 8~15 日および末期の 20~28 日における実測の増殖率よりも著しく大きい。15~20 日の値では実測のそれの 2 倍程度である。この 15~20 日の期間は前半分の日に天候が悪く、日射量も著しく小さかった (Fig. 25) ので、現場での生産量も計算に用いた値より小さかったと考えられる。したがって、この期間の平均増殖率は上の試算値よりかなり小さく見積られて、実測のそれに近くなる。また、初期の 8~11 日は増殖の誘導期 (lag phase) とみなされ、光合成物質は貯蔵にまわり、細胞の分裂は行なわれず、実測の増殖率が小さかったと考えられよう。

これらの増殖率は、1時間当りにすると 0.02 前後であって、先の海産プランクトンの値の小さい方と一致する。

なお、1963年9月22日に同じ定点で、珪藻類の *Thalassiosira* (主として *T. subtilis*) の大増殖がみられ、総細胞は  $117 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  (3層の平均値) で、その 90% をこの種類が占めていた。この10日前には総細胞数は  $6.9 \times 10^7 \text{ cell/m}^3$  で、*Skeletonema* と *Chaetoceros* が優占して *Thalassiosira* は 6% にすぎなかった。この時の細胞の1日当り増殖率をみると、総細胞数では 0.28 であって *Exuviaella* の中期の増殖率に近い。なお、*Thalassiosira* のみの増殖率は 0.55 であった。

内海における植物プランクトンの増殖率は環境の諸条件によって変わるであろうが、前述の値から大増殖の際には細胞の1日当りのそれは 0.3 程度と推定される。

なお、この水域は閉鎖されていないために、増殖したものは拡散して、増殖率が過少に評価されるおそれがあるが、増殖域が広範囲におよんでいたため、大きな誤差はないと考える。

### 3 植物プランクトンの増殖におよぼす栄養源添加の効果

*Exuviaella* の大増殖の際に、定点 BG-1 およびその付近の観測点において、透明度深度層の水に栄養源を添加し、植物プランクトンの増殖におよぼす効果を確認した。

栄養源としては、次の5種を選んだ。

松江の *Skeletonema* 培養液のうち、

- |               |              |
|---------------|--------------|
| (1) 硝酸カリウム    | 28mgN/l      |
| (2) 磷酸一カリウム   | 0.28 mgP/l   |
| (3) メタ珪酸ナトリウム | 約 2.4 mgSi/l |

また、PROVASOLI の培養液から

- |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|
| (4) 微量金属混合物 "PII" (Fe, B, Mn, Zn, Co, EDTAを含む)                                     |
| (5) ビタミン混合物 "Vit. mix 8A" (B <sub>12</sub> , biotin, thiamin, nicotinic acid 等を含む) |

これらをそれぞれ単独に、所定の濃度になるように加え (試水 100ml に培養原液 1ml), 昼間だけ光合

表 5. 各種の栄養源を添加した際における光合成量の増加

Date	Control	Nitrate-N	Phosphate-P	Silicate-Si	Trace Metals	Vitamin mix
9- 7	100%	109%	104%	93%	<b>137%</b>	<b>138%</b>
-8	100	116	58 <sup>?</sup>	<b>123</b>	73	<b>146</b>
-15	100	<b>135</b>	82	101	111	103
-20	100	79	90	106	<b>136</b>	87
-28	100	111	100	96	113	102

成測定用タンク（蛍光灯）で照射して、1日間培養した。その後、 $^{14}\text{C}$ を加え、同じタンクを用いて光合成量を測定した。

その結果、表5にみるように、何も添加しなかった対照のものより、光合成量が20%以上増加して、添加の効果がみとめられたものは、日によって個々に異なったが、磷酸塩をのぞくすべての栄養源であった。

したがって、内海においては、これらの栄養源が植物プランクトンの増殖に際して制限因子として作用することがあるように思われる。

なお、海中の Nitrate-N が減少した9月15日には硝酸塩の添加に効果がみられたが、次の20日には効果がなかった。

また海中の Phosphate-P が少なかった20、28日にも磷酸塩の添加に効果があらわれなかった。

## V 一次生産の算定ならびにこれと関連する生産

瀬戸内海における一次生産について、以上の結果を総括し、また内海全水域の生産量を算定した。さらに、内海の大型海藻類による一次生産量について、また動物生産に餌料として重視される海中懸濁質有機物の起原について推定し、これらと一次生産との関連について検討を加えた。

### 1 一次生産

瀬戸内海において一次生産の主体をなすものは、沿岸性の珪藻類を主とする植物プランクトンで、その生産量は水域で異なり、また季節的な変動も著しい。

赤潮などの特殊な例をのぞくと、クロロフィル $a$ 量は $0.21\sim 7.3\text{ mg/m}^3$ 、光合成量は $0.30\sim 18.3\text{ mgC/m}^3/\text{h}$ の範囲にあった。この値はこれまで断片的にしらべられている本邦周辺の他の海域と比べると、外洋では西条・市村<sup>39)</sup>の夏季における黒潮水域の値（クロロフィル量 $0.1\sim 0.3\text{ mg/m}^3$ 、光合成量 $0.1\sim 0.7\text{ mgC/m}^3/\text{h}$ ）よりかなり大きい、また生産力の大きい親潮水域の値（クロロフィル量 $0.5\sim 0.7\text{ mg/m}^3$ 、光合成量 $1\sim 4\text{ mgC/m}^3/\text{h}$ ）とは同程度のこともあるが、同じ夏季の値についてみると内海の値が大きい。

また、沿岸海域（函館湾から長崎湾にいたる8カ所<sup>51,23,28,53)</sup>では、場所によって違いが著しいが、一般に大きな値が得られており、内海も大体これら沿岸水域に準ずる値とみなすことができる。

一次生産量は、 $0.03\sim 1.21\text{ gC/m}^2/\text{day}$ の範囲にあった。いま、水平分布についてみると、表6のように、各調査時の平均値は備後灘の定点 BG-1 における値に近く、また、この値は季節変動調査の際の同点の値とも近い。そこで、この定点における季節変動調査の際の値をもって、瀬戸内海を生産量を代表させると、先に述べたように、年の平均は $0.33\text{ gC/m}^2/\text{day}$ である。高水温時の8月および9月に大きく、低水温時の2月に小さくて、年間の全生産量は $120\text{ gC/m}^2/\text{year}$ という値が得られる。

表6. 各調査における一次生産量 ( $\text{gC/m}^2/\text{day}$ )

月	水平分布調査の 平均値	同左の BG-1 の値	季節変動調査の BG-1 の値
1	0.257	0.143	0.155
6	0.592	0.558	0.590
9-I	0.617	0.634	0.431 (0.822) 1.212
9-II	0.415	0.391	

他の海域においては、本研究の如く多数の観測に基いて求められた年平均値や年間の全生産量の測定例は少ないが、前述の値は外洋などについて概算されている値<sup>3,38,46)</sup>（表7参照）に比べると、一般のものよりかなり大きい。

内海の一次生産の特性としては、次のことが上げられる。すなわち、外洋に比べて生産層における単

表7. 他海域の一次生産量

	gC/m <sup>2</sup> /day	gC/m <sup>2</sup> /year
熱帯海域	0.05~0.15	30
Sargasso Sea	—	50, 72
温帯海域	—	100~150, 120
North Sea	—	52~82
北極海	—	<1
南極海	—	29~32, 100 <sup>?</sup>
黒潮域(夏季)	0.1~0.2	—
親潮域(夏季)	0.2~0.4	—
瀬戸内海(平均)	0.33	120

位体積当りの光合成量が著しく大きい。しかし、透明度が小さいなど有機・無機の中懸濁質が多く、光の消散が大きいため生産層は浅い。したがって、単位面積当りの生産量では単位体積当りの光合成量でみられるほど大きくはならない。また、一時的ではあるが、珪藻以外の種類が大増殖し、著しく大きな生産量を示す場合がしばしばある。

前述の値から、内海全水域 ( $17 \times 10^9 \text{m}^2$ )<sup>25)</sup> の一次生産量を求めると次の如くなる。

$$5.6 \times 10^8 \text{ tonC/day}$$

$$2 \times 10^6 \text{ tonC/year}$$

ここで、植物プランクトンの含有炭素量に対する体積の比 (algal volume/carbon) は  $7 \sim 11^{6,45)}$  とされているので、便宜上 10 を選び、さらに比重を 1 とすると、炭素量の 10 倍を湿重量とみなせる。

すなわち、瀬戸内海の一次生産量としては、

炭素量として年間ほぼ 200 万トン

湿重量では 2,000 万トン

という値が得られ、内海における動物生産は、この一次生産の基盤の上に立っているものとみなされる。

## 2 海藻類による一次生産

沿岸海域では底生性の大型藻類による一次生産の大きいことが知られている<sup>38)</sup>。瀬戸内海におけるそれについては明らかでないが、種々の資料から内海全域での生産量について検討を試みた。

まず、内海における天然のワカメ・テングサ・フノリなど有用藻類の採取量は、昭和 36~40 年の漁業統計<sup>35)</sup>から、平均して年 3,500 トン(生の重量)であり、また、養殖ノリの生産量<sup>35)</sup>は年 22,000 トン(生の重量)である。この両者を合せた値は、植物プランクトン生産量(湿重量)の約半日分に当たる。これらの値は漁獲量であって、生産量は当然これよりも大きい。なお植物プランクトンの生産量に比べるとかなり小さいと考えられる。

また、アマモ・ホンダワラ・アオサなどの他の植物の生産量については、現在、正確な見積りは困難である。ただ、内海区水産研究所の集計<sup>33)</sup>によると、内海のアマモ場の面積はおおよそ  $10^8 \text{m}^2$  と推定されている。この他のホンダワラによって構成されるガラモ場やアオサの生育域などの面積については資料がないが、一応これらの生育域をアマモ場の半分と見積る。両者の合計は  $1.5 \times 10^8 \text{m}^2$  となり、これは内海の海岸線に沿った巾 40m の面積にほぼ等しい。一方、アマモの現存量は、新崎<sup>2)</sup>によると最大時に約  $400 \text{g/m}^2$  (風乾) であるから、これの 5 倍を湿重量とすると  $2 \times 10^9 \text{g/m}^2$  になる。モ場全域が一年間に、これだけの生産を行なうとして概算すると、湿重量にして 30 万トン程度と推定され、これは植物プランクトン生産量(湿重量)の 1.5% に相当する。

このように、大型の海藻類による生産は、内海全一次生産の小部分を占めているに過ぎない。

## 3 海中懸濁質有機物の起原

瀬戸内海は他の内湾や沿岸海域と同様に、海中に浮游懸濁している粒子、すなわち懸濁質が多く分布し、その量は花岡<sup>16)</sup>や古川<sup>13)</sup>によると植物プランクトン現存量の数倍ないしそれ以上見出されるのが常である。懸濁質の餌料効果と動物生産上に果たす役割の重要性は、すでに指摘せられているところであるが、その有機質の起原については明らかでなく、植物プランクトン起原以外のものを重視する推測的な見方が強い。

内海において考えられる一次生産以外の有機質原としては河川を通じて流入する陸上起原のものが重視される。そこで、種々の調査資料に基いてこの流入量について概算してみた。

まず、内海地方の給水面積<sup>25)</sup>は  $373 \times 10^2 \text{ km}^2$  であり、平均流量<sup>12)</sup>は平水の比流量にして  $100 \text{ km}^2$  当り  $2.32 \text{ m}^3/\text{sec}$  であるから、年間の全河川流量は  $2.7 \times 10^{10} \text{ m}^3$  となる。なお、この値はこの給水面積における年降水量  $1,000 \sim 1,500 \text{ mm}$  のうち、 $732 \text{ mm}$  が流入する計算になる。

河川水の溶存有機物量として、COD (過マンガン酸カリ消費量) についてみると、河川によって著しく異なり、種々の資料から  $3 \sim 20 \text{ ppm}$  程度の値が得られる。いま、これらの平均的な値として、淀川の川口付近における一測定値  $10 \text{ ppm}$  を選んだ。また、このCODは、溶存している有機物質の種類によって異なるが、単純な糖類ではCOD  $1 \text{ mg}$  が有機炭素量  $1 \text{ mg}$  前後に相当する<sup>11)</sup>。したがって、河川水中の平均有機炭素量は  $10 \text{ mgC/l}$  ( $=10 \text{ gC/m}^3$ ) と推定される。

これらの値から、内海に流入する総有機炭素量は年間  $27$  万トン程度と見積られ、これは一次生産量の  $14\%$  に相当する。

なお、工業廃水が直接海に流入し、これによってもたらされる有機物質は、竹内ら<sup>43)</sup>の調査資料から主だったものについて積算すると、有機炭素量にして年間約  $6$  万トンで、一次生産量の数%にとどまった。

また、溶存有機質原の一つである植物プランクトンの extracellular products は、FOGG<sup>10)</sup>によると、通常は炭素同化量の  $2 \sim 10\%$  程度 (時には  $90\%$  に達することもある) であって、小さい。

バクテリアによる化学合成量については、内海の資料はないが STRICKLAND<sup>46)</sup> や KRISS<sup>26)</sup> の値からみて、一次生産量の数%以下と推定され、無視出来よう。

以上のことから、内海における懸濁質有機物の起原は、その大部分が直接あるいは間接に植物プランクトンによる一次生産に由来するものと結論される。

#### 4 漁業生産との関係

内海における漁業生産のうち魚類生産量についてとりあげ、一次生産量と比較検討した。魚類の漁獲量は、最近5ヶ年<sup>35)</sup>の平均にして  $18$  万トンであり、カタクチイワシとイカナゴとでその  $50\%$  前後を占める。またその他の魚種<sup>35)</sup>からみても、漁獲量の大部分は内海中で生産されたものと考えられる。

この魚類漁獲量は一次生産量 (湿重量) の約  $1\%$  に相当する。

両生産量をカロリーに換算して、エネルギーとしての移行の効率を求めると、まず、一次生産量は、光合成の式から炭素  $1 \text{ g}$  が  $9.3 \text{ Kcal}$  に相当するので、内海全域の年間生産量として  $19 \times 10^{15} \text{ gcal}^*$  となる。

表 8. 魚類漁獲量と一次生産量との関係

	漁獲量/一次生産量
カ ス ピ 海	0.45%
Georges Bank	0.1
東 京 湾	0.55
諏 訪 湖	0.66
瀬 戸 内 海	0.70

\* 一次生産量をカロリーに換算するには、他の方法も用いられている。そこで、一次生産量の日射エネルギーに対する比をみると、内海では上の方法によって  $0.08\%$  となった。花岡<sup>14,15)</sup>は東京湾で  $0.1\%$  と推定し、宝月ら<sup>15,17)</sup>は諏訪湖で  $0.16\%$  と測定しており、これらに近い値が得られた。

一方、魚類漁獲量については花岡<sup>14)</sup>にならって CLARK の換算率、鮮魚 1 g が 740 gcal を用いると、年平均漁獲量として  $13 \times 10^{13}$  gcal となる。これは一次生産量の 0.70 % に当たる。

花岡<sup>15)</sup>によると、他の水域におけるエネルギー効率は前表の値である。

これらの値は一次生産量から魚類漁獲量への移行過程、また漁獲される魚の種類などによって変わるが、内海の値は東京湾や諏訪湖の値と同程度で、魚類漁獲量へのエネルギー効率はかなり高い。

### 5 総括的考察

瀬戸内海における諸種の生産量についてまとめると、表 9 になる。なお、DATSKO<sup>7)</sup>による黒海などの資料のうち、カスピ海における有機物の収支を合せ記した。

表 9. 瀬戸内海の諸生産

瀬戸内海			カスピ海		
(湿重量)			(乾燥重量)		
<b>生産量</b>	×10 <sup>8</sup> トン	%	<b>収入</b>	×10 <sup>8</sup> トン	%
植物プランクトン生産	20,000	86.6	植物プランクトンの生産	200,000	96
海藻類の生産	326	1.4	底棲植物の生産	375	0.6
養殖ノリ	(22)				
有用藻類(ワカメなど)	(4)				
その他(アマモなど)	(300)				
河川からの流入 (有機炭素量×10)	2,760	12.0	河川水の流入	7,000	3.4
計	23,086	100	計	207,375	100
<b>漁獲量</b>	×10 <sup>8</sup> トン	%	<b>支出</b>	×10 <sup>8</sup> トン	%
魚類	180	0.8	漁業による除去	135	0.1
貝類	46	0.2			
養殖カキ	(21)				
有用貝類(アサリなど)	(25)				
エビ・タコ他	50	0.2			
小計	276	1.2	底への沈澱	8,000	3.9
その他(生産量との差引)	22,808	98.8	無機化	199,240	96
計	23,086	100	計	207,375	100

内海における有機物の生産は、植物プランクトンによる一次生産が量も大きく重要であり、これが諸動物生産の基盤となっている。また、漁業生産は他の内湾におけると同様に、単位面積当りの漁獲量も多く、一次生産からの効率も高いといえよう。

## VI 要 約

瀬戸内海は、漁場ならびに増養殖場として重要な水域であるが、環境が複雑であること、棲息している生物の種類が多いことなどのために、構成されている生態系も複雑で、生物生産の機構も単純ではない。しかし、ほとんどすべての動物生産が、第一次生産の基盤の上に立っていることは明らかである。

本研究は、瀬戸内海における植物プランクトンによる一次生産の実態を究明することを目的とし、生産量の水平分布や季節変動、また植物プランクトンについて調べたものである。

1) 一次生産を求めるための光合成量の測定は、現在、大体標準化されている常法により、光照射用タンクを用いる <sup>14</sup>C 法を採用した。しかし、この方法では、海中懸濁物の多い沿岸水を対象とする場合、

懸濁物による $\beta$ 線の吸収が測定誤差を生ずる懸念がある。まず、この点について吟味した結果、懸濁物量が $0.34\text{ mg}/100\text{ ml}$ （現場透明度 $3.3\text{ m}$ ）以下では、自己吸収による誤差を無視することができ、したがって、内海では一部の特別な水域を除き、一般には試水 $100\text{ ml}$ を用いて測定を行なっても支障のないことを確かめた。

2) タンク法による測定結果を基にして、瀬戸内海の一次生産量( $P=\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$ )の算出を行なった。この算出に当っては、STEEMANN NIELSEN(1952)による次式を用いた。

$$P = \frac{(2a+2b+c) \cdot d \cdot e}{5 \cdot 2} \cdot k$$

ただ、本研究の場合は、採水深度と生産層のとり方を幾分異にしているため、この点についての補正をほどこした。すなわち上式において、 $a, b, c$ はそれぞれ $0.5\text{ m}$ 、透明度深度および透明度の2倍深度における水の光合成量( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ )（照度 $12,000$ ルクス）、 $d$ は生産層の深さ（透明度 $\times 2$ ）、 $e$ は日没から日没までの時間である。また、 $k$ は現場法で求めた一次生産量と比較して決定した補正係数で、内海の場合は $1.0$ であった。

3) 内海水域の光合成量は、外洋におけるよりも顕著な日変化を示すことが特徴の一つとして指摘される。日変化の巾は夏季に最も大きく、また、深度を増すにつれて小さくなる。

代表的な測点における夏季の例では、透明度深度以浅の光合成量の日変化は、最大が最小の $3.0\sim 13.6$ 倍という値であった。変化の型は、一般に知られているように、最大を示すのは午前中であり、以後減少をたどるが、最小となるのは午後ではなく、常に夜間であった。冬季においては、日変化は小さく、また、夏季におけるような変動の型もみられない。

一方、クロロフィル $a$ 量は、最大と最小との値の比が $1.2\sim 3.3$ の範囲にあって変動したが、特に定まった変動の型は認め難かった。

従来、光合成量の日変化は、主としてクロロフィル量の増減に起因するとす観測結果が多いが、内海の場合はクロロフィル $a$ 量そのものよりも、単位クロロフィル $a$ 量当りの光合成量、すなわち、“クロロフィル $a$ の光合成活性”の変化の方が、より重要な起因をなしているように見受けられた。

4) 内海の適当な横断線上の測点において、何回かにわたって行なった観測結果によると、クロロフィル $a$ 量は $0.2\sim 7.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 、光合成量は $1.0\sim 17.1\text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ 、また、一次生産量は $0.12\sim 0.95\text{ gC}/\text{m}^3/\text{day}$ と、ともに水域および季節によってかなりの相違があらわれた。しかし、これらの水平分布は、水温や塩素量などから識別される水塊の分布とは必ずしも一致せず、独自の分布型を示すことが多い。このことは、一面では内海における海況の複雑さを示すものとみられよう。

5) 内海の中央部分にある備後灘において、光合成量の季節変動を追跡した結果によると、その値は $0.3\sim 15.4\text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ の範囲で大きく変動し、平均値は $3.9\text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。光合成量の大きい時期は夏季を中心とする月（5月、6月、8月および9月）で、冬季間は光合成量が低値であった。

クロロフィル $a$ 量は、 $0.2\sim 2.4\text{ mg}/\text{m}^3$ の範囲内に増減し、平均値は $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$ であった。9月と1月に山がみられ、年間の最高値は1月に観測された。

一次生産量は、 $0.03\sim 1.21\text{ gC}/\text{m}^3/\text{day}$ の範囲にあって変動し、光合成量と同じく夏季に大きく、冬季に小さかった。年間の平均としては $0.33\text{ gC}/\text{m}^3/\text{day}$ という値が得られた。

年間の水温変動範囲は $8\sim 27^\circ\text{C}$ で較差が大きく、“クロロフィル $a$ の光合成活性”は高水温ほど増大する傾向が認められる。しかし、同一水温下においても、水域や深度の違いによって値に、かなりの差がみられることもある。

6) 一次生産の主体をなす植物プランクトンは、瀬戸内海では沿岸性の珪藻類が組成の中心をなし、卓越種(*Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Leptocylindrus* 属など)は、本邦沿岸で知られているものである。また、プランクトン量は、 $10^6\sim 10^9\text{ cell}/\text{m}^3$ の範囲にあって、日本沿岸海域にみられるものと同程度であった。

その組成ならびに量は水域で異なり、また季節的な変動も著しい。

7) 内海水域では一時的ではあるが、珪藻以外の種類が大増殖を呈する場合もしばしばある。植物プランクトンの現場の水域における増殖過程を解明する目的で、1965年9月に渦鞭毛藻類の *Exuviaella* sp. が大増殖をし、赤潮状態を呈した機会をとらえ、連続した観測を実施した。細胞数の計数と、クロロフィル *a* 量の定量とによって本種の増殖率を計算した結果では、最高増殖時の1日当りの平均増殖率は、両法ともに0.3程度であった。なお、この増殖率は細胞数が2倍になるのに約2.5日を要することとなる。

また、光合成量から推定した増殖率はそれよりも大きくなるが、この観測期間中における悪天候時には生産が低くなっていたことを考慮すると、この推定値は小さくなるので、上の実測値に近づくことが考えられる。

8) 現場における植物プランクトンの増殖を支配する要因の一つとして、栄養源を添加して、その効果を確かめた。日によって異なったが、窒素、珪素、微量金属およびビタミンでは光合成量が対照より増大した。したがって、内海においてはこれら栄養源が、植物プランクトンの増殖の際に制約因子として作用することがあるように思われる。

一方、磷の添加効果はみられなかった。

9) 瀬戸内海におけるクロロフィル *a* 量は、 $0.2\sim 7.3\text{ mg/m}^3$ 、光合成量は  $0.30\sim 18.3\text{ mgC/m}^3/\text{h}$  で、これまで断片的にしらべられている本邦周辺の他の海域と比べると、外洋域の黒潮水域や生産力の大きい親潮水域の値などより大きい。また、本邦沿岸海域では、場所によって違いが著しいが、一般に大きなクロロフィル *a* 量および光合成量が得られており、内海の場合も、大体これら沿岸水域に近い値とみなすことができる。

一次生産量について、水域を代表すると考えられる値（備後灘の測定値）は、高水温時の8月および9月に大きく、低水温時の2月に小さい。変動範囲は  $0.03\sim 1.21\text{ gC/m}^2/\text{day}$  であるが、この結果から、年間の平均値としては  $0.33\text{ gC/m}^2/\text{day}$ 、年間の全生産量では  $120\text{ gC/m}^2/\text{year}$  という値が得られる。他の海域においては、本研究のごとく多数の観測に基いて求められた年間の平均値や全生産量の例は少ないが、前述の値は外洋などについて概算されている値に比べると、かなり大きいことがわかる。

内海では外洋に比べて、生産層における単位体積当りの光合成量が著しく大きい。しかし、透明度が小さいなど海中懸濁質が多く、光の消散が大きいため生産層が浅い。したがって、単位面積当りの生産量が外洋に比べてさほど大きくならないことは内海の一次生産の特性として上げられる。

前述の値から、内海全水域の一次生産量を求めると次の如くなる。

$$6 \times 10^8 \text{ ton C/day}$$

$$2 \times 10^6 \text{ ton C/year}$$

すなわち、瀬戸内海の一次生産量としては、炭素として年間ほぼ200万トン、これを湿重量に換算すると、2,000万トンという値が得られ、内海における動物生産は、この一次生産の基盤の上に立っているとみなされる。

10) 瀬戸内海における海藻類の一次生産については、明らかでないが、天然ワカメなど有用藻類の採取量は年平均3,500トン、養殖ノリの生産量は22,000トンで、両者を合わせた値はほぼ植物プランクトン生産量の約半日分に当たる。

また、アマモ・ホンダワラ・アオサなどの他の植物の生産量については、現在、正確な見積りは困難であるが、アマモ場の面積 ( $10^8\text{ m}^2$ ) などから推定して、これらの生産量は30万トン程度とみられ、これは植物プランクトン生産量の1.5%に相当する。

このように、当該海域における大型の海藻類による生産は、全一次生産量の小部分を占めているに過ぎないことが判明した。

11) 内海は他の内湾や沿岸海域と同様に、海中懸濁質が多く分布し、その量は植物プランクトン現存量の数倍ないし、それ以上見出されるのが常である。懸濁質の餌料効果と動物生産上に果たす役割の重

要性についてはすでに指摘せられているところであるが、懸濁質有機物の起原については明らかでなく、植物プランクトン起原以外のものを重視する推測的な見方が強い。

内海において考えられる一次生産以外の有機質原としては、河川を通じて流入する陸上起原のものが重視されるが、調査資料に基いて流入量を概算してみると、有機炭素として年間27万トン程度であって、この値は一次生産量の14%に相当する。また、工業廃水が直接海に流入し、これによる有機炭素量は約6万トンで、一次生産量の数%にとどまった。

また、植物プランクトンの extracellular products やバクテリアによる化学合成量は、それぞれ一次生産量の数%と推定され、これも量的には問題とならない。

よって、内海の懸濁質有機物の起原の大部分は、直接あるいは間接に植物プランクトンによる一次生産に由来するものと結論される。

12) 瀬戸内における魚類漁獲量は18万トンでその大部分は魚種からみて内海中で生産されたものと考えられ、この値は一次生産量の約1%に当たる。これをカロリーに換算して、エネルギーとしての移行の効率を求めると、漁獲量は一次生産量の0.7%となり、東京湾や諏訪湖における値と同程度で、かなり高い。

13) 内海における諸種の生産をみると、有機物の生産では植物プランクトンによる一次生産が最も大きく重要であり、これが諸動物生産の基盤となっている。また、漁業生産は他の内湾におけると同様に単位面積当りの漁獲量が多く、一次生産からの効率も高いといえよう。

## 文 献

- 1) ANTIA, N. J., McALLISTER, C. D., PARSONS, T. R., STEPHENS, K. and STRICKLAND, D. H.: Further measurements of primary production using a large-volume plastic sphere. *Limnol. and Oceanog.*, **8**, 166-183 (1963).
- 2) 新崎盛敏: アマモ, コアマモの生態 (I). 日水誌, **15**, 567-572 (1950).
- 3) BURKHOLDER, P. R. and BURKHOLDER, L. M.: Primary productivity in surface waters of south Pacific ocean. *Limnol. and Oceanog.*, **12**, 606-617 (1967).
- 4) CASSIE, R. M.: Microdistribution and other error components of C<sup>14</sup> primary production estimate. *Limnol. and Oceanog.*, **7**, 121-130 (1962).
- 5) CREITZ, G. I. and RICHARDS, E. D. S.: The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. III. A note on the use of Millipore membrane filters in the estimation of plankton pigments. *J. Mar. Res.*, **14**, 211-216 (1955).
- 6) CUSING, D. H.: The estimation of carbon in phytoplankton. *Rapp. Cons. Explor. Mer*, **144**, 32-33 (1958).
- 7) DATSKO, V. G.: Organic substance in the water of southern sea in USSR. *Izud. Akad. Nauk SSSR* (1959).  
(小倉紀雄・石渡良志: 海洋における有機物の地球化学(4). 水処理技術, **7**, 45-48 (1966) より引用)
- 8) DOTY, M. S. and OGURI, M.: Evidence for a photosynthetic dialy periodicity. *Limnol. and Oceanog.*, **2**, 37-40 (1957).
- 9) DOTY, M. S. and OGURI, M.: The carbon-fourteen technique for determining primary plankton productivity. *Publ. Staz. Zool. Napoli*, **31**, Suppl., 70-94 (1959).
- 10) FOGG, G. E.: Extracellular products. Physiology and Biochemistry of Algae, pp. 475-489, Academic Press (1962).
- 11) 富士川知子: 化学的酸素消費量 (C. O. D.) に関する研究 (その1). 水質汚濁研究, **1**, 1-16 (1961)
- 12) 藤村重任 (監修): 水資源総論. 水理学大系, 第1巻, p. 248, 地人書館. (1962).
- 13) 古川 厚・野上和彦・久岡 実・小笠原義光・岡本 亮・小林歌男: 海中懸濁物質並びに主としてその点からみた貝類養殖場の特性に関する研究. 内水研報告, 14号, 1-151 (1961)
- 14) 花岡 資: 内湾生産力の標示について. 内水研報告, 1号, 42-53 (1952)
- 15) 花岡 資: 水面生産力の問題. 内水研報告, 8号, 66 (1955)

- 16) HANAOKA, T.: Suspended matter as an index of productivity of the sea. *Rapp. Cons. Explor. Mer.*, **144**, 28-31 (1958).
- 17) 宝月欣二・北沢石三・倉沢秀夫・白石芳一・市村俊英: 内水面の生産及び物質循環に関する基礎的研究 (I). 水産研究会報, 4号, 41-127 (1952).
- 18) 宝月欣二・吉田勝彦・沖野上輝夫・中本信忠: 植物プランクトン生産力測定法に関連する二三の問題の検討. 海洋生物群集の総合的研究, 41年度研究業績報告, 16-17 (プリント) (1967).
- 19) ICHIMURA, S.: Diurnal fluctuation of chlorophyll content in lake water. *Bot. Mag. Tokyo*, **73**, 217-224 (1960).
- 20) ICHIMURA, S. and ARUGA, Y.: Some characteristics of photosynthesis of fresh water phytoplankton. *Bot. Mag. Tokyo*, **71**, 261-269 (1958).
- 21) 市村俊英・小林弘: 東京湾の基礎生産に関する調査報告. 日本プランクトン研究会報, 11号, 6-8 (1964).
- 22) 稲葉明彦(編): 瀬戸内海の生物相. p. 352, (広島大学向島臨海実験所) (1963).
- 23) 入江春彦・飯塚昭二・梶原武: 長崎湾の基礎生産. 長崎大学水産学部報告, 19号, 52-55 (1965).
- 24) JITTS, H. R. and SCOTT, B. D.: The determination of zero-thickness activity in Geigercounting of  $C^{14}$  solutions used in marine productivity studies. *Limnol. and Oceanog.*, **6**, 116-123 (1961).
- 25) 神戸海洋気象台(編): 瀬戸内海の気象と海象. 神戸海洋気象台彙報, 161号, p. 211, (1952).
- 26) KRISS, A. E.: Marine microbiology (deep sea). (飯塚廣・山田豊一訳: 海洋微生物学. pp. 464 技報堂 (1963).
- 27) 丸茂隆三: 日本近海のプランクトン. 海洋の事典, pp. 459-462, 東京堂 (1960).
- 28) 松平康雄他: 日本沿岸水域基礎生産力総合研究結果. 日本プランクトン研究会報, 11号, 24-73 (1964).
- 29) McALLISTER, C. D., PARSONS, T. R., STEPHENS, K. and STRICKLAND, J. D. H.: Measurements of primary production in coastal sea water using a large-volume plastic sphere. *Limnol. and Oceanog.*, **6**, 237-258 (1961).
- 30) MULLIN, J. B. and RILEY, J. P.: The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to sea water. *Analyt. Chim. Acta*, **12**, 464-480 (1955).
- 31) MULLIN, M. M., SLOAN, P. R. and EPPLEY, R. W.: Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnol. and Oceanog.*, **11**, 307-311 (1966).
- 32) 村上彰男: 笠岡湾海洋調査報告. 内水研報告, 6号, 15-57 (1954)
- 33) 内海区水研資源部(編): 瀬戸内海における藻場の現状. 内水研刊物C輯, 5号, 21-38 (1967)
- 34) 日本海洋学会(編): 海洋観測指針. p. 252, 日本海洋学会 (1955)
- 35) 農林省農林経済局統計調査部: 漁業養殖業生産統計年報. 昭36年度~40年度. 農林省.
- 36) 尾島雄一・久岡実: 既往資料による瀬戸内海の海況と漁況の変動. 内水研報告, 5号, 1-12 (1953)
- 37) RICHARDS, F. A. with THOMPSON, T. G.: The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of phytoplankton pigments. *J. Mar. Res.*, **11**, 156-172 (1952).
- 38) RYTHER, J. H.: Geographic variations in productivity. *The Sea*, **2**, pp. 347-380, John Wiley & Sons (1963).
- 39) SAIJO, Y. and ICHIMURA, S.: Primary production in the north-western Pacific ocean. *J. Oceanog. Japan*, **16**, 139-145 (1960).
- 40) SAIJO, Y. and ICHIMURA, S.: Some considerations on photosynthesis of phytoplankton from the point of view of productivity measurement. *J. Oceanog. Japan*, 20th anniv. vol., 687-693 (1962)
- 41) 坂本充: 植物プランクトンの基礎生産測定における二三の問題についての検討. 海洋生物群集の総合的研究. 41年度研究業績報告. 23-25 (プリント) (1967)
- 42) SHIMADA, B. M.: Diurnal fluctuations in photosynthetic rate and chlorophyll "a" content of phytoplankton from eastern Pacific waters. *Limnol. and Oceanog.*, **3**, 336-339 (1958).
- 43) STEEMANN NIELSEN, E.: The use of radio-active carbon ( $C^{14}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **18**, 117-140 (1952).
- 44) STEEMANN NIELSEN, E.: Productivity, definition and measurement. *The Sea*, **2**, 129-164, John

- Wiley & Sons (1963).
- 45) STRICKLAND, J. D. H.: Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, No. 122, 172 (1960).
  - 46) STRICKLAND, J. D. H.: Production of organic matter in the primary stages of marine food chain. *Chemical Oceanography*, 1, pp. 477-610, Academic Press (1965)
  - 47) STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R.: A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, No. 125, 2ed, 203, (1965).
  - 48) 竹内 脩・鈴木正也・杉本仁弥: 瀬戸内海における海域汚染工場の位置および廃水の性状. 内水研刊行物C輯, 3号, 13-46(1965).
  - 49) 鳥海三郎: 海産鞭毛藻の培養. 日本プランクトン研究会報, 13号, 41-49 (1966).
  - 50) YENTSCH, C. S.: Primary production. *Oceanog. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1, 157-175 (1963).
  - 51) YENTSCH, C. S. and RYTHER, J. H.: Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance. *Limnol. and Oceanog.*, 2, 140-142 (1957).
  - 52) YENTSCH, C. S. and SCAGEL, R. F.: Diurnal study of phytoplankton pigments. An in situ study in East Sound, Washington. *J. Mar. Res.*, 17, 567-583 (1958).
  - 53) 米 康夫・竹下貢二・田中於菟彦・富山哲夫: 福岡湾の基礎生産. 日本プランクトン研究会報, 11号, 9-11(1965).
  - 54) 遠藤拓郎: 瀬戸内海備後灘における海洋基礎生産に関する研究 I 基礎生産および海況について. 広島大学水畜産学部紀要, 5, 503-518 (1964).
  - 55) 弘田礼一郎・遠藤拓郎: 瀬戸内海備後灘における海洋基礎生産に関する研究 II 基礎生産とプランクトン. 広島大学水畜産学部紀要, 5, 519-535(1964).
  - 56) 遠藤拓郎: 瀬戸内海における海洋基礎生産に関する研究 I 基礎生産および海況について. 広島大学水畜産学部紀要, 6, 85-100(1965).
  - 57) 弘田礼一郎・遠藤拓郎: 瀬戸内海における海洋基礎生産に関する研究 II 基礎生産とプランクトン. 広島大学水畜産学部紀要, 6, 101-132(1965).
  - 58) 遠藤拓郎: 瀬戸内海備後灘における海洋基礎生産に関する研究 III 日変化について. 日本プランクトン研究会報, 松江博士還暦記念号, 9-16(1967).

## SUMMARY

The Seto Inland Sea is an important water area not only as a commercial fishing ground but also as a marine aquiculture ground. In this sea, the mechanism of organic production, as well as the ecosystem of inhabiting organisms, is complex owing to complicated hydrographic conditions and diversified fauna and flora. However, there is little doubt that almost all the animal production in this sea depends basically upon the primary production referable to marine plants.

This study aims at clarifying the actual state of primary production in this sea. It is principally concerned with the primary production by the phytoplankton with emphasis on its geographical and seasonal variations and on the description of phytoplankton populations.

### 1. Photosynthesis and its variation with time and space.

The photosynthetic rate of the natural population of phytoplankton (expressed as 'phytoplankton photosynthesis' or simply as 'photosynthesis' in the following) was measured by the usual method, namely the  $^{14}\text{C}$  method employing the incubation tank (illuminated at 12,000 lux). It was suspected that, when this method was applied to a coastal water, the suspended particles retained on a filter might absorb  $\beta$  radiation and cause an error in assaying the radioactivity of incubated phytoplankton. Tests were carried out by incubating 100 ml of sea water and filtering it through the molecular filter of 24mm diameter, and it was proved that the above mentioned error is negligible at the concentrations of suspended matter less than 0.34 mg (dry weight)/100 ml (which correspond to the Secchi disc transparencies of 3.3 m and over). This result indicated that incubating 100 ml of sample water is usually a justifiable procedure in this sea.

#### (1) Diurnal fluctuation.

(This subject has already been dealt with in a preceding paper<sup>58</sup>.)

Phytoplankton photosynthesis demonstrated notable diurnal variations. Amplitude of the variation was great in summer (the maximum/minimum ratio being 3.0 to 13.6); it decreased vertically to

wards deeper layers. In contrast, diurnal variation of the chlorophyll *a* content of sea water was of much smaller magnitude.

Although many observational data in the past suggested that diurnal variation in phytoplankton photosynthesis was ascribable to the diurnal variation in the chlorophyll content of sea water, the foregoing result indicates that the diurnal rhythm of phytoplankton photosynthesis in the Seto Inland Sea was closely correlated with the 'photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll *a* content' rather than with the chlorophyll *a* content itself.

### (2) Geographical variation

(A part of this subject has been dealt with in a preceding paper<sup>56</sup>.)

Phytoplankton photosynthesis was measured several times at a series of fixed stations arranged on a line traversing the Seto Inland Sea, obtaining values ranging from 1.0 to 17.1 mgC/m<sup>3</sup>/hr; simultaneously measured chlorophyll *a* contents varied from 0.2 to 7.3 mg/m<sup>3</sup>. Both variables varied geographically and seasonally. In many cases their geographical variations followed their own peculiar patterns, rather than such patterns as were expected from the distribution of water temperature and chlorinity.

### (3) Seasonal variation.

(This subject has already been dealt with in a preceding paper<sup>54</sup>.)

Seasonal variation of phytoplankton photosynthesis was studied by taking monthly measurements for a period of one year at a station located in Bingo-nada, a region which could be regarded as representative of the Seto Inland Sea. The measurements varied over a wide range of 0.3 to 15.4 mgC/m<sup>3</sup>/hr with the mean at 3.9 mgC/m<sup>3</sup>/hr. They were generally high during summer (in May, June, August and September) and low during winter.

Monthly measurements of chlorophyll *a* content varied between 0.2 and 2.4 mg/m<sup>3</sup> with the mean at 1.0 mg/m<sup>3</sup>; highest values occurred in January and September.

Monthly values of photosynthesis per unit amount of chlorophyll *a* content tended to be greater at higher water temperatures.

### 2. Taxonomic composition and propagation rate of phytoplankton

(A part of this subject has been dealt with in a preceding paper<sup>55,57</sup>.)

Neritic species of planktonic diatoms usually predominated in the phytoplankton which was the major primary producer in this sea. Dominant species were those which had been commonly found in the coastal waters of Japan. Population density and species composition of phytoplankton varied not only geographically but also, to a greater extent, seasonally. Population density ranged between 10<sup>6</sup> and 10<sup>9</sup> cells/m<sup>3</sup>.

It was a frequent occurrence that phytoplankters other than diatoms propagated rapidly to produce the 'red tide' temporarily. For example, a dinoflagellate, *Exuviaella* sp., propagated abundantly in September, 1965. On this occasion, field observation was carried out repeatedly and the average population growth rate at the peak of population level was estimated at about 0.3 fissions per day (i.e., population density doubles in about 2.5 days) from the results of cell count as well as from the chlorophyll *a* data.

Experiments in which sea water was incubated after addition of various nutrients showed that nitrate-N, silicate-Si, trace metals and vitamins might act as a limiting factor for the propagation of phytoplankton in the Seto Inland Sea.

### 3. Assessment of primary production

Primary production by phytoplankton was computed from the photosynthesis data obtained by the tank method by use of Steemann Nielsen's equation (1952); necessary corrections were made regarding the depths of sampling layers and thickness of euphotic zone.

Monthly value of primary production thus computed for a representative station varied between 0.03 and 1.21 gC/m<sup>2</sup>/day during a year with the mean at 0.33 gC/m<sup>2</sup>/day; it was high in August and September when water temperature was high, and low in February when water temperature was low. Annual production at this station was assessed at 120 gC/m<sup>2</sup>/year. Primary production for the whole Seto Inland Sea was calculated at 6 × 10<sup>9</sup> ton C/day or 2 × 10<sup>6</sup> ton C/year; the latter figure is equivalent to 2 × 10<sup>7</sup> ton (wet weight) of phytoplankton per year.

The foregoing results indicate that in the Seto Inland Sea, as compared with the open ocean, the euphotic zone was endowed with very much higher chlorophyll *a* content and phytoplankton photosyn-

thesis, but that the primary production per unit area was not much greater owing to lower transparency and smaller thickness of euphotic zone. This condition may be regarded as one of the chief characteristics of the primary production of this sea.

#### 4. Primary and related productions in the Seto Inland Sea

Although the phytoplankton was the major concern in the foregoing, macroscopic marine plants also are primary producers in the Seto Inland Sea. Furthermore, this sea is rich in the suspended particulate matter, the standing crop of which often amounts to more than several times that of phytoplankton. One can not neglect the important role that the suspended matter plays in organic production, particularly in the production of filter-feeding animals. Organic productions referable to these factors was estimated from the data appearing in the literature, and their bearing on primary production was examined. Examination was also made of the correlation between primary production and commercial fish production.

Annual harvest of commercially valuable seaweeds (such as *Undaria*, culture laver *Porphyra*, etc.) from the Seto Inland Sea was found to be equivalent to one half of the average daily production of phytoplankton. Annual growth of other wild marine plants (such as *Zostera*, *Ulva*, etc.) was estimated at about 1.5% of the annual production of phytoplankton. It may be said from the above that macroscopic plants contributed only a small fraction to the primary production in this sea.

The suspended organic matter occurring in the Seto Inland Sea may be referable to two main sources: namely, (1) the primary production and (2) the organic matter of land origin that is carried into the sea by rivers. Annual supply of organic matter from the latter source was estimated at about 14% of the phytoplankton production. Suspended organic matter may originate also from the extracellular products of phytoplankton and from the bacterial chemosynthesis, but the supply from these sources can be regarded as negligible in amount. It is therefore concluded that the main portion of the suspended organic matter occurring in this sea originated, either directly or indirectly, from the primary production by phytoplankton.

The total catch of those fishes whose growth was judged as having taken place in the Seto Inland Sea was estimated at  $1.8 \times 10^4$  tons per year, which corresponded roughly to 1% of the annual phytoplankton production on wet weight basis. When computed in terms of energy, the above mentioned fish catch represented 0.70% of the primary production by phytoplankton. This value, although considerably high, is comparable with the values reported for Tokyo Bay and Lake Suwa.