

瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について

山口 峰生・安楽 正照

Primary Productivity in Suō-Nada, Western Seto Inland Sea

Mineo YAMAGUCHI and Masateru ANRAKU

Phytoplankton biomass and primary productivity were investigated in 1982-83 in Suō-Nada, western Seto Inland Sea. Chlorophyll-*a* was determined fluorometrically and primary productivity was measured by *in situ* ^{13}C tracer technique. Phytoplankton biomass in carbon was also estimated by carbon/chlorophyll-*a* ratio (40).

Chlorophyll-*a* values varied between 0.15 and 8.76 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, with the mean of 1.54 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. This indicates that the concentrations in Suō-Nada are lower than the values reported from the neritic waters of Japan.

Horizontal distribution of chlorophyll-*a* revealed that the concentrations were higher in western areas than in the east. Chlorophyll maximum was noticed near the bottom during stratified seasons. This was presumably due to the growth of phytoplankton there rather than the sinking cells from the upper layer. Negative correlation between chlorophyll concentration and transparency was obtained. In nearshore areas in Suō-Nada, however, variations of transparency seemed to be influenced by the amount of detritus and zooplankton.

Daily primary productivities in the water column were 0.31 in May and 0.45 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ in July, 1983, respectively. These values were nearly equal to the previous values measured in Seto Inland Sea using ^{14}C method. Calculated phytoplankton biomass was 2,759 tons in carbon and annual productivity was 139 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$. Based on this value, primary productivity in Suō-Nada was estimated to be 430,000 tons as carbon per year.

植物プランクトンによる基礎生産は、海洋における生物生産の根幹をなすものである。したがって基礎生産の把握は、食物連鎖の各段階における生物生産の量的関係を明らかにする生態学的観点のみならず、漁業資源の維持、管理に有用な情報を得るという産業的視点からも重要である。

STEEMANN NIELSEN (1952) が開発した放射性同位元素 ^{14}C を用いる基礎生産測定法は標準的な手法として国際的にも認められてきた。しかし、放射性物質の環境への悪影響を考慮し、近年 ^{14}C の使用が制限される傾向にあり、これに代るものとして安定同位元素 ^{13}C を用いる方法が開発されつつある (SLAWYK *et al.* 1977, SLAWYK and COLLOS 1982, HAMA *et al.* 1983)。 ^{13}C 法と ^{14}C 法で測定した光合成速度の間には高い相関があり、 ^{14}C 法に代って ^{13}C 法で十分有用であると考えられている (HAMA *et al.* 1983)。

瀬戸内海における基礎生産の ^{14}C 法による研究は、備後灘（松平1964）、周防灘を除く瀬戸内海（遠藤1970）、および燧灘・備後灘（ENDO and OKAICHI 1977）があるが、周防灘においてはほとんど行われていない。また、今後 ^{14}C による基礎生産量測定を現場で行うことはほとんど不可能であり、 ^{13}C 法による測定法の確立が急務とされている。

著者らは1982—83年にかけて、周防灘における植物プランクトン現存量の水平・鉛直分布および ^{13}C 法による基礎生産量の測定を行ったので、その結果を報告する。なお本研究は科学技術庁科学技術振興調整費による「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」の一部として行われたものである。

本文に先立ち、 ^{13}C 法による基礎生産量測定に関して、懇切に御教示頂いた名古屋大学水圏科学研究所浜健夫先生ならびに筑波大学高橋正征博士に謝意を表す。また、調査にあたっては南西海区水産研究所調査船しらふじ丸および山口県内海水産試験場調査船みどりの乗組員各位に多大の御協力を頂いたことを記して感謝する。

材料と方法

1. 植物プランクトン現存量の測定

植物プランクトン現存量の測定は、Fig. 1 に示す調査点（以下 St. と略す）で1982年7月、

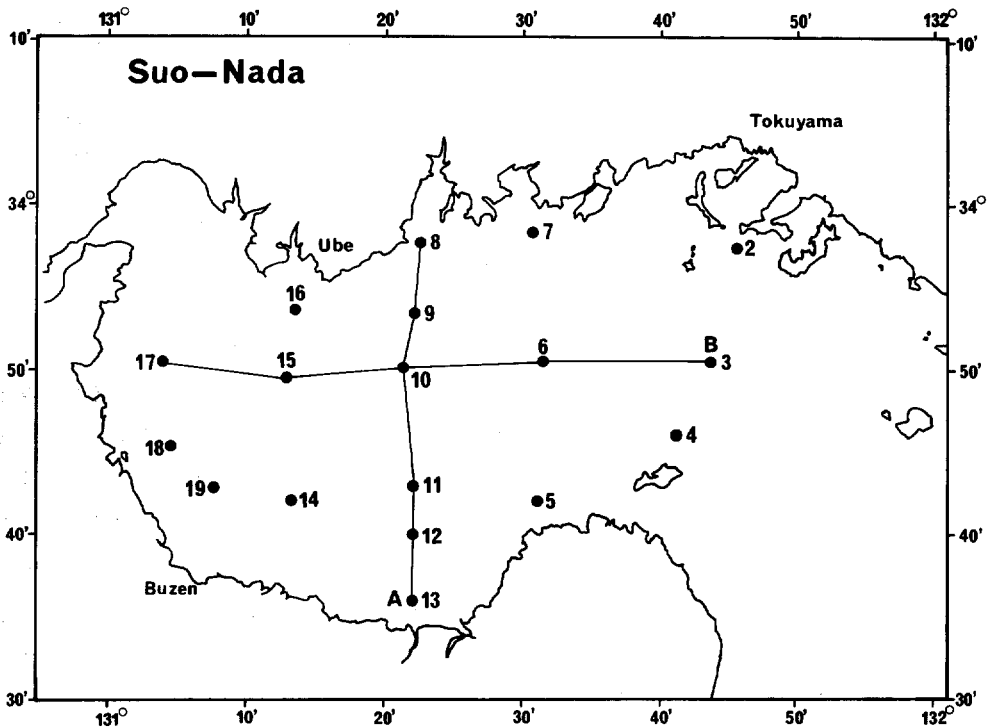


Fig. 1 Location of sampling stations in Suo-Nada, western Seto Inland Sea.

周防灘の基礎生産

10月, 1983年5月, 7月, 10月の計5回実施した。現存量はクロロフィル *a* を測定し, 炭素/クロロフィル *a* 比を乗じて炭素量として求めた。炭素/クロロフィル *a* 比は, 周防灘でこれまで報告されているリン酸塩濃度 (吉岡1983, 藤本他1979) に基づき, RILEY (1965) に従って40とした。クロロフィル *a* は, バンドーン採水器を用いて0, 5, 10, 20, 30, 40, B-1m 層より採水後, ガラス繊維濾紙 (ワットマン GF/C, 47mm) で500mlないし1,000mlを濾過し, 濾紙を-20°Cで凍結保存後, 西条 (1975) に従い90%アセトンで抽出し, 蛍光光度計 (TURNER DESIGNS 社製10-005型) により測定した。有光層内のクロロフィル *a* 現存量は, 実測層間のクロロフィル *a* が直線的に増減するものとし, それらの層間の面積を台形法で計算しその総和として求めた。積算は表層から有光層深度 (透明度深の3倍) まで行ったが, 有光層深度がその St. の水深を越える場合は表層から底層まで実施した。なお, 1983年には粒状態有機炭素および窒素 (POC, PON) の測定も行った。

2. 基礎生産量の測定

基礎生産量の測定は¹³C 法により, Fig. 1 に示す St. 3, 11, 17の3点において1983年5月と7月に実施した。試水の採取はクロロフィル *a* の場合と同様で, 採水後大型の動物プランクトンを除くため網目300 μ m のネットで濾過した。濾液を1.2l 容のガラス瓶 (明暗瓶各1本) に満たした後, 基質として NaH¹³CO₃ 溶液 (90atom%) を炭素量で2.785mg \cdot l⁻¹ 加え, これを各採水層に5時間 (10~15時) 吊下げた。5時間後各試水を450°Cで4時間空焼きしたガラス繊維濾紙 (ワットマン GF/F, 47mm) で濾過し, 濾紙を-20°Cで凍結保存した。各試料は無機態炭素を除くため HCl 蒸気中に1時間さらした後, 真空デシケータ中で乾燥し, 重炭素分析計 (柳本製作所 MSI-20) で¹²C/¹³C 同位体比を測定した。なお採水時に粒状態有機炭素 (POC), *a_n*, (後述), クロロフィル *a* および全炭酸 (Σ CO₂) 測定用の試料も採取した。POC および PON は CHN コーダ (柳本製作所 MT-3) で, クロロフィル *a* は前述の蛍光法により測定した。また Σ CO₂ は pH とアルカリ度による方法 (STRICKLAND and PARSONS 1968) により船上で測定した。

本研究で用いた重炭素分析計においては, 試料は CN コーダで燃焼後 CO₂ の形で4重極管型質量分析管に導入される。CO₂ には質量数44から49まで各種の分子が存在するが, 質量数44 (¹²C¹⁶O₂), 45 (¹³C¹⁶O₂) 以外は存在比が小さいため無視できる。したがって, 質量数44と45のピーク高を求めれば試料中の¹³C atom%を計算できる。すなわち¹³C atom%の定義より,

$$^{13}\text{C atom \%} = \frac{[^{13}\text{C}]}{[^{12}\text{C}] + [^{13}\text{C}]} \times 100 = \frac{100}{R + 1}$$

ここで R (¹²C/¹³C 同位体比) は下式で与えられる。

$$R = \frac{\text{質量数44のピーク高}}{\text{質量数45のピーク高}}$$

吊下げ前後の ¹³C 量に注目し SLAWYK *et al.* (1979) の式を変形すると

$$P_0 \cdot a_{n_s} + \Delta P \cdot a_{t_c} = (P_0 + \Delta P) \cdot a_{t_s} \dots \dots (1)$$

ここで P_0 : 吊下げ前の POC 量 ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$)

ΔP : 同化された炭素量 ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$)

a_{ns} : 自然状態の POC の ^{13}C atom%

a_{is} : 吊下げ後の POC の ^{13}C atom%

a_{ic} : ΣCO_2 中の ^{13}C atom%

a_{ic} は下式で計算できる。

$$a_{ic} = \frac{\Sigma\text{CO}_2\text{中の炭素量}\times 0.11 + \text{基質中の炭素量}\times 0.9}{\Sigma\text{CO}_2\text{の炭素量} + \text{基質中の炭素量}} \times 100$$

(1)式より

$$\Delta P = P_0 \cdot \frac{(a_{is} - a_{ns})}{(a_{ic} - a_{is})}$$

求める基礎生産速度 Pr ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) は

$$Pr = \frac{\Delta P \cdot f}{t}$$

ここで t : 吊下げ時間

f : ^{13}C 同位体分別補正係数 (HAMA *et al.* 1983)

水柱当りの日生産量 ($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) は、上記の方法で得られた各層ごとの基礎生産速度を、現在量の場合と同じ方法で深度について積算し、調査時の日照時間 (14時間) を乗じて求めた。

3. 一般海況

各調査時における水温および塩分は TS 水質モニター (鶴見精器製モデル1) により、また透明度はセッキ板によりそれぞれ測定した。

結 果

1. 一般海況

周防灘における表層 (0m) の水温、塩分および透明度の水平分布を Fig. 2 に示す。

水温は、5月は7、10月より低温で、東部で 16°C 、西部で 19°C と西高東低であった。7月の水温は最も高く、また5月同様西高東低の傾向がみられ、1982年には $21^\circ\sim 24^\circ\text{C}$ 、1983年には $25^\circ\sim 28^\circ\text{C}$ であった。10月には灘全体で等温となり $21^\circ\sim 22^\circ\text{C}$ に下降した。

塩分は1982年7月を除くすべての調査期間を通じてほぼ31~32%であり、水温の分布とは逆に灘東部で高く南部から南西部で低い傾向が認められた。1982年7月には、調査前に多量の降雨があったため、灘北部に非常に低かん水が分布した。

透明度は全般的に灘東部から西部にかけて低下する傾向があり、1982年には灘中央部から東部で高かった。1983年5月には灘北西部の関門海峡寄りの水域と南部で低く、7月には灘全体で5~12mと高かったが、10月には全域で5m以浅に低下した。

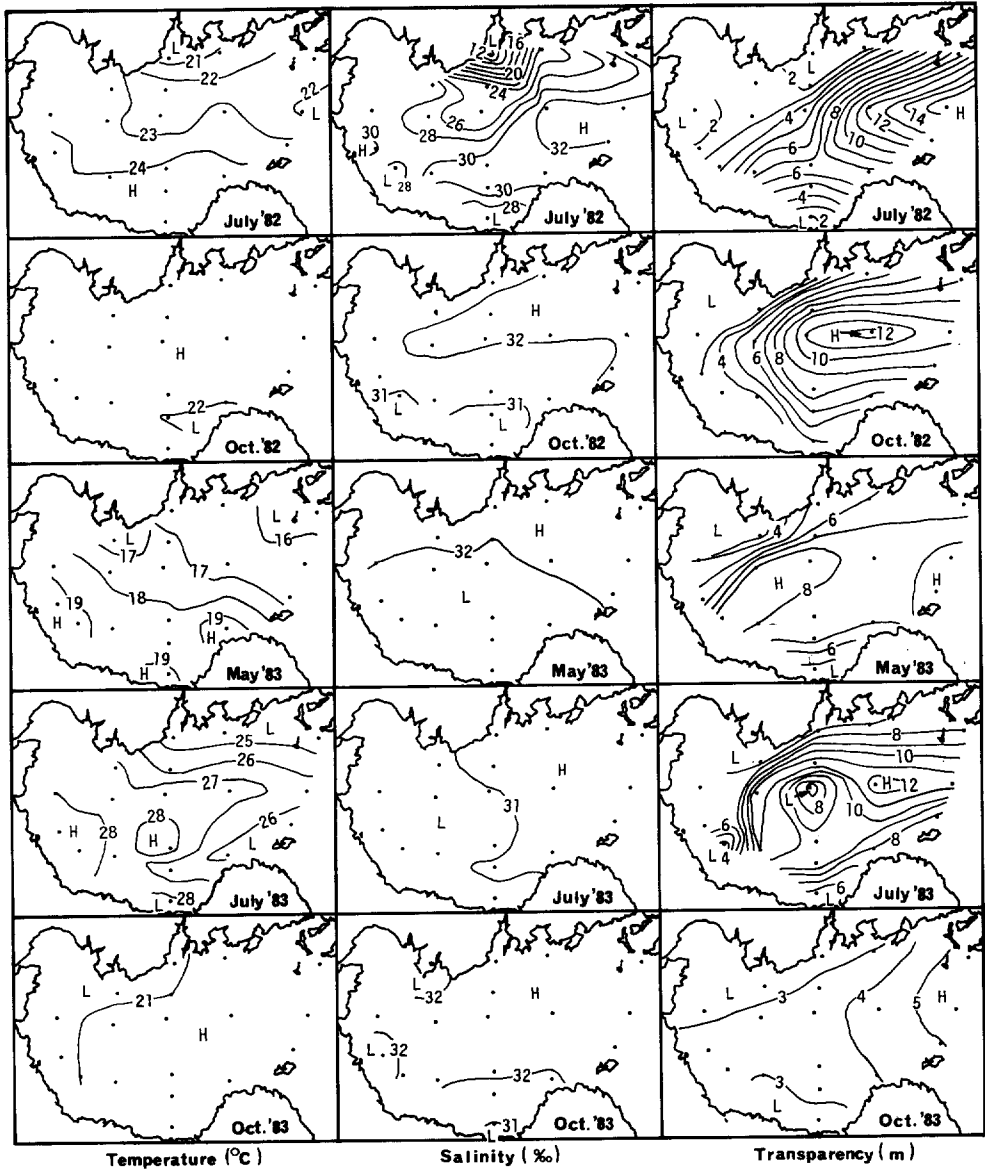


Fig. 2 Horizontal distributions of surface temperature, salinity and transparency.

Fig. 3 に Fig. 1 に示す南北線 A (St. 8~13) における水温、塩分の鉛直分布を示す。

5月、7月には5~15m付近に水温躍層が形成され、表層と底層の温度差は4°~8°Cであった。10月の水温は表層から底層にかけて一様になり、鉛直混合による攪拌がうかがえた。

一般に塩分の躍層は認められず、底層までほぼ一様に分布していた。1982年7月には降雨による著しい塩分低下の影響が5m以浅で認められた。

東西線 B (St. 17~3) における水温・塩分の鉛直分布によれば (Fig. 4), 5月と7月には成

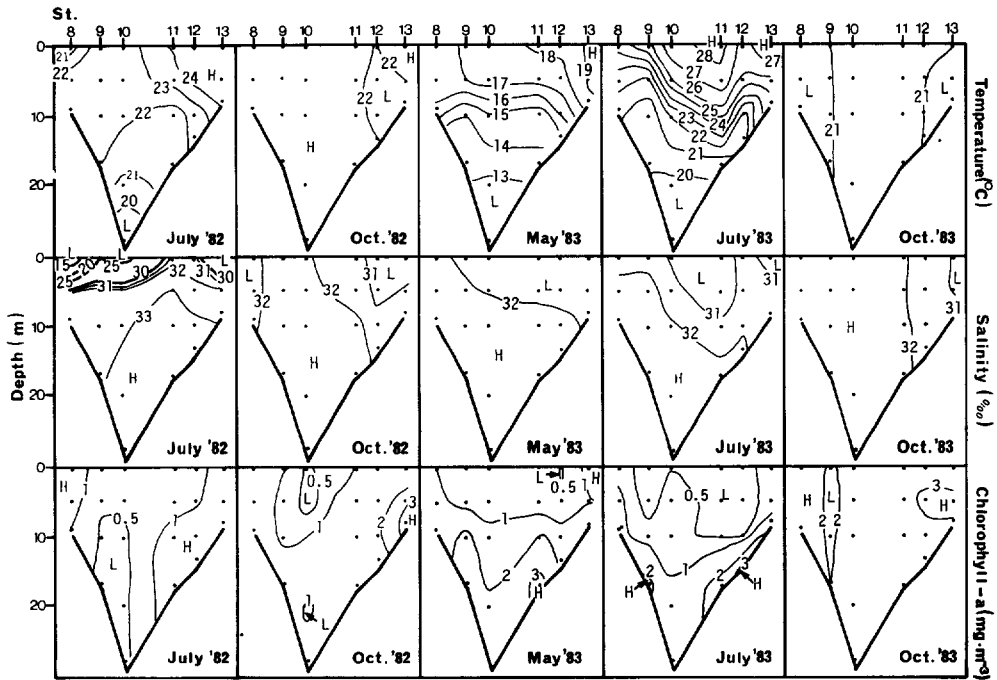


Fig. 3 Vertical profiles of temperature, salinity and chlorophyll-*a* along the north-south line A in Fig. 1.

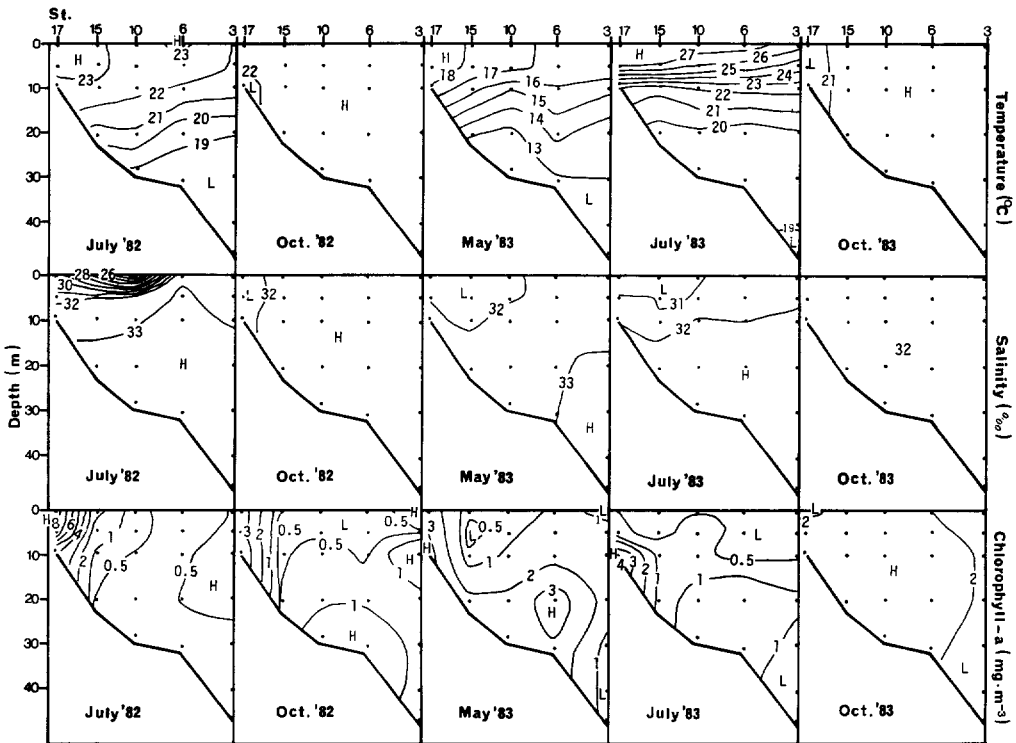


Fig. 4 Vertical profiles of temperature, salinity and chlorophyll-*a* along the east-west line B in Fig. 1.

層が発達していた。塩分は表層から底層まで一様の分布を示したが、1982年7月には灘西部から中央部の表層付近で塩分低下が認められた。

2. 植物プランクトン現存量

表層(0 m)におけるクロロフィル *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) の水平分布は (Fig. 5), 1982年には7月、10月とも灘西部ほど高く、最高 $6\sim 8\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ であるのに対して、東部では $1.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下であった。1983年のクロロフィル *a* は1982年に比べ全般に低く $3.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下であり、西部での高濃度域も認められなかった。特に、1983年7月は灘全域で $0.5\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下で、前年に比べると著しく低濃度であった。

南北線 A における鉛直分布によれば (Fig. 3), クロロフィル *a* は1982年10月に南部底層付近で $2.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上とやや高い部分が認められたものの、7月、10月とも表層から底層まで $1.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ とほぼ一様の分布を示した。1983年5月、7月には、クロロフィル *a* は表層で低く底層で高い傾向が認められたが、10月には南部の底層でやや高いものの全層を通じてほぼ $2.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ と一様に分布していた。

東西線 B における鉛直分布をみると (Fig. 4), クロロフィル *a* は1982年7月、10月とも灘西部の表層から底層にかけて一様に高かったが、1983年5月、7月には灘西部および中央部の底層付近ほど高く、表層で低い傾向が認められた。10月には南北断面と同様に $2.0\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ と一様の分布を示した。

各観測点の各層におけるクロロフィル *a* の最大、最小および平均値を Table 1 に示す。周防灘のクロロフィル *a* は $0.15\sim 8.76\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ の範囲にあり、全調査期間の平均は $1.54\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。また、両年とも5月と10月にやや高い傾向がうかがえた。

有光層内の植物プランクトン現存量は1982年には7月、10月とも灘西部および南西部で $1.2\text{gC}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上と高く、クロロフィル *a* の水平分布傾向とほぼ一致していた (Fig. 5)。1983年は前年と様相が異なり、5月には灘中央部から東部にかけて、7月には灘北西部の関門海峡寄り、10月には灘東部にそれぞれ現存量の高い海域が認められた。各 St. における現存量は $0.11\sim 1.84\text{gC}\cdot\text{m}^{-3}$ である。

Table 1. Chlorophyll-*a* concentration and phytoplankton biomass (C) in Suō-Nada, western Seto Inland Sea. Phytoplankton biomass in carbon was estimated based on the C/Chlorophyll ratio (40) derived from RILEY (1965).

Date	Chlorophyll- <i>a</i> Concentration ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)		Phytoplankton Biomass					Areal Total (ton C)		
			Chlorophyll- <i>a</i> ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$)			Carbon ($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}$)				
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min		Max	Mean
July '82	0.28	8.76	1.29	2.7	40.1	16.2	0.11	1.60	0.65	2,015
Oct. '82	0.25	6.67	1.74	7.0	45.9	26.4	0.28	1.84	1.06	3,286
May '83	0.36	4.56	1.49	9.6	44.8	25.1	0.38	1.79	1.00	3,100
July '83	0.15	4.82	0.99	5.8	44.3	19.6	0.23	1.77	0.78	2,418
Oct. '83	1.40	3.86	2.20	15.7	32.9	23.9	0.63	1.32	0.96	2,976
Mean			1.54			22.2			0.89	2,759

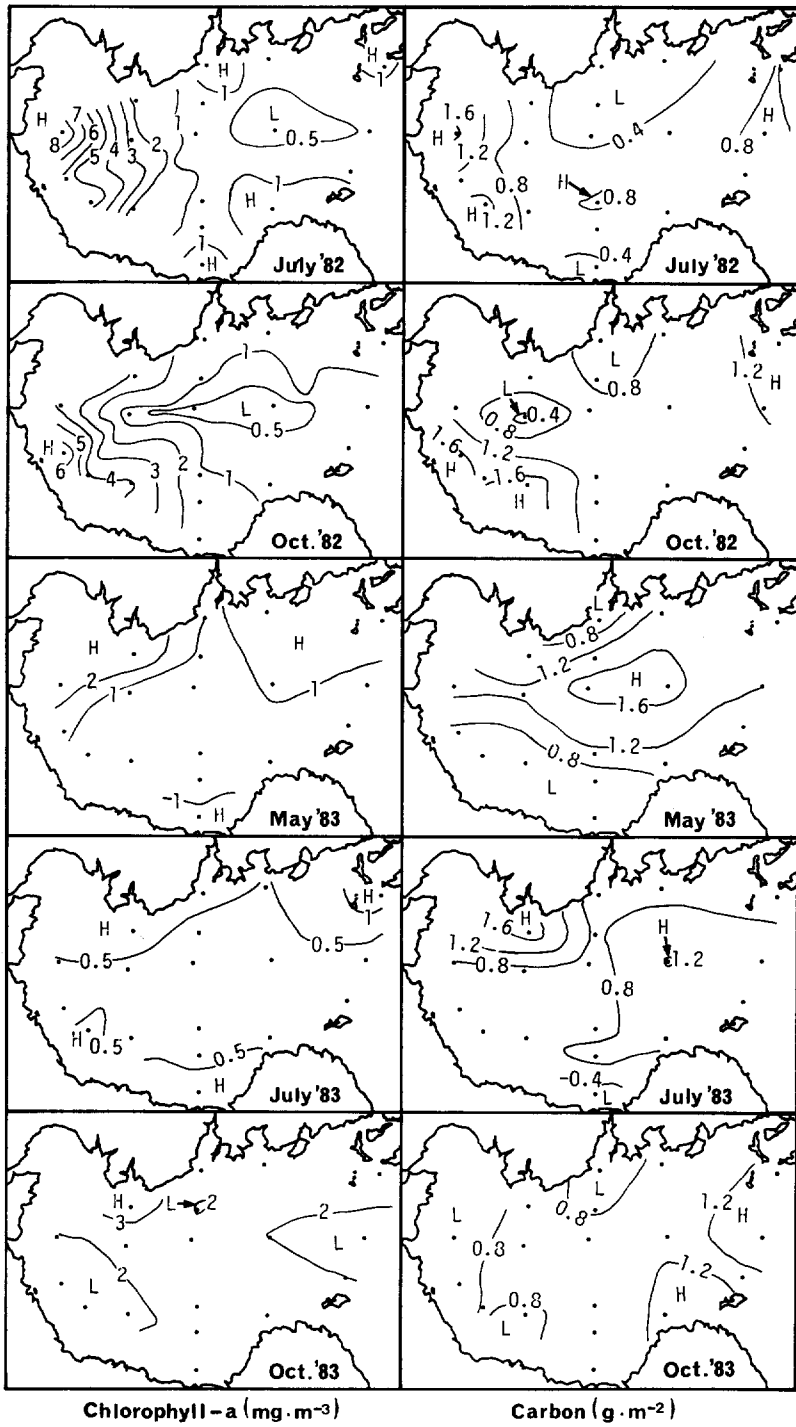


Fig. 5 Horizontal distributions of surface chlorophyll-a and phytoplankton biomass in carbon.

m^{-2} で各調査時の平均は $0.89gC \cdot m^{-2}$ であり、クロロフィル *a* と同様に 5 月と 10 月に高い傾向がうかがえた (Table 1)。

3. 基礎生産量

1983 年 5 月に St. 3, 11, 17 の 3 地点で得られた基礎生産速度、クロロフィル *a* および単位クロロフィル *a* 当りの生産速度 (以下 Ass. No. と略す) の鉛直分布を Fig. 6 に示す。

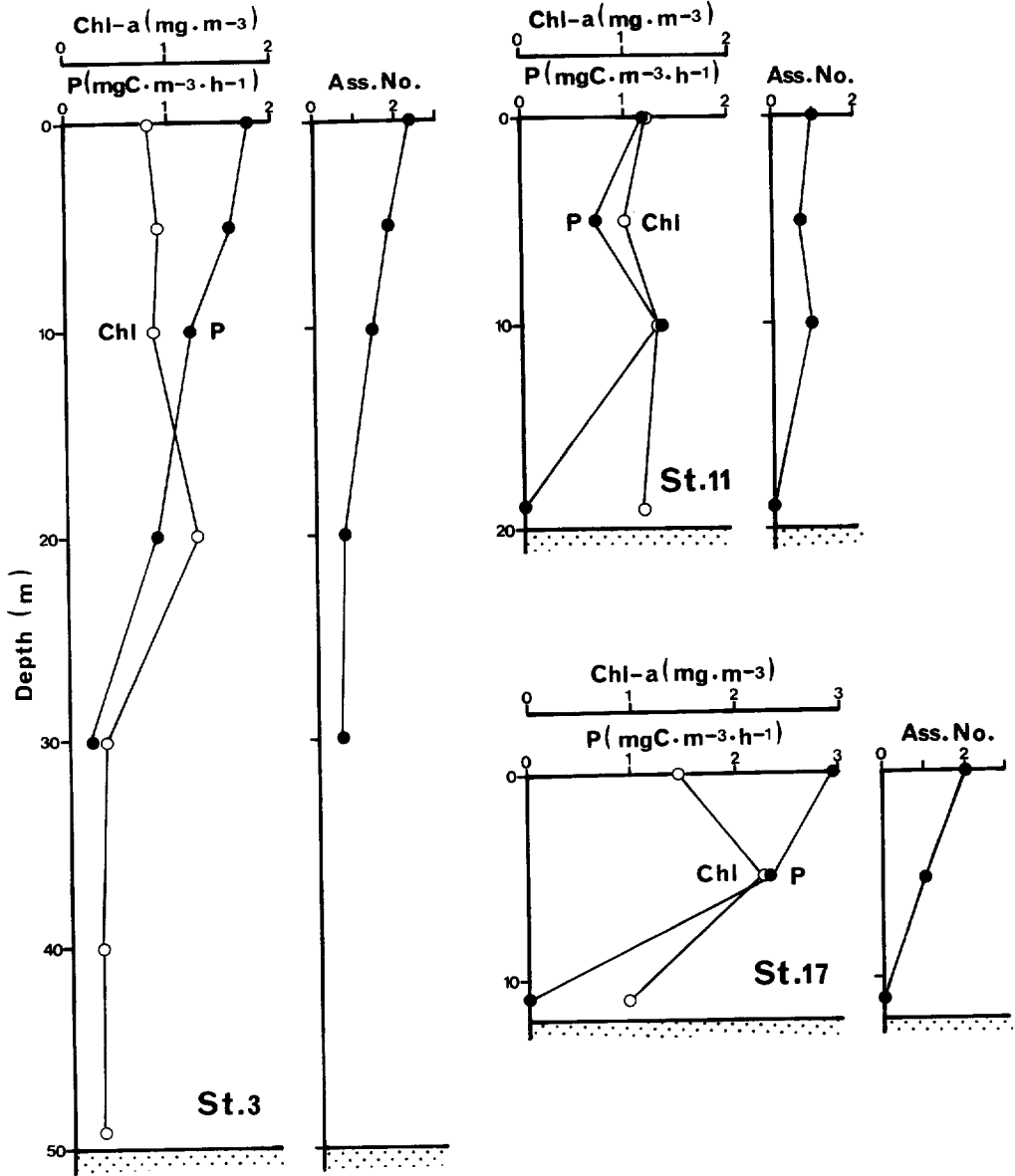


Fig. 6 Vertical profiles of photosynthetic rate (P), chlorophyll-*a* (Chl) and photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll-*a* (Ass. No.) at three representative stations in May, 1983.

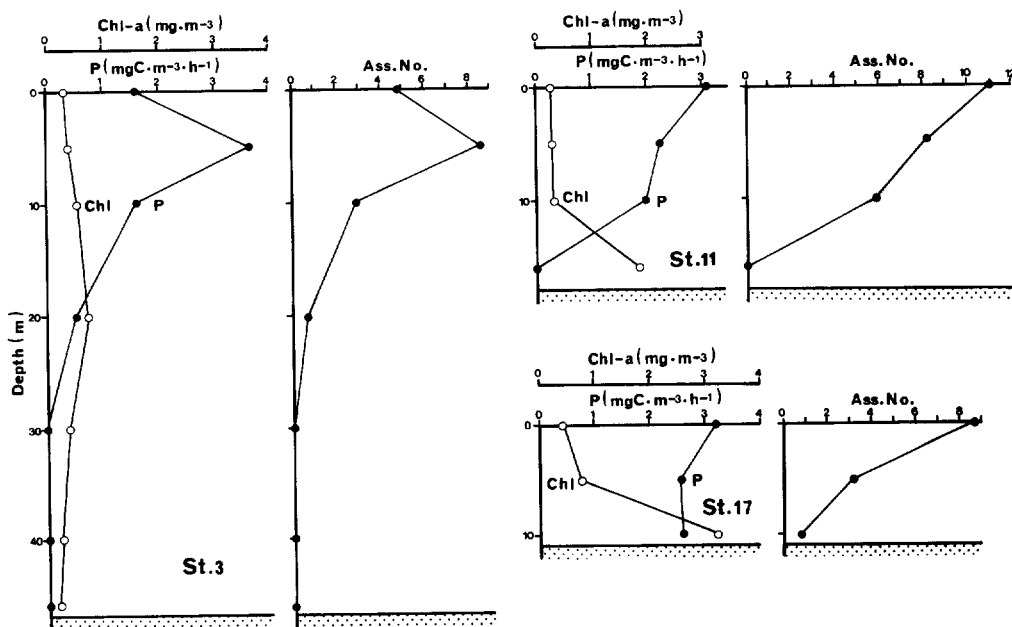


Fig. 7 Vertical profiles of photosynthetic rate (P), chlorophyll-a (Chl) and photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll-a (Ass. No.) at three representative stations in July, 1983.

5月には St. 3, 17 の生産速度は表層で最も高く、各々 $1.8, 2.9 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ であり底層にゆくにつれてほぼ直線的に減少した。St. 11 では10m層に極大が存在し、その生産速度は $1.3 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。Ass. No. は一般に表層から底層にかけて減少傾向を示し、表層において $1.0 \sim 2.3 \text{ mgC} \cdot \text{mgChl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ の範囲にあった。

7月 (Fig. 7) には St. 3 の5m層に $3.6 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ の極大が認められたが、St. 11, 17 では表層に生産速度の極大が存在し各々 $3.1, 3.7 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。また、St. 17 では B-1 m層 (10m) でも $2.6 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ と5m層とほぼ等しい生産速度が認められた。表層における Ass. No. は $4.8 \sim 11.0 \text{ mgC} \cdot \text{mgChl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と5月に比べるとはるかに高い値が得られた。

Table 2. Photosynthetic rate, daily and annual primary productivity measured by ^{13}C tracer technique at three representative stations in Suō-Nada, western Seto Inland Sea.

Date	Station	Transparency (m)	Photosynthetic Rate ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	Daily productivity ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	Annual productivity ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$)
May 18 '83	3	7.5	31.3	0.44	159.9
May 17 '83	11	4.5	15.6	0.22	79.7
May 16 '83	17	4.0	20.1	0.28	102.7
July 28 '83	3	8.0	38.3	0.54	195.7
Aug. 2 '83	11	10.8	29.7	0.42	151.8
July 29 '83	17	8.5	28.4	0.40	145.1
	Mean	7.2	27.2	0.38	139.2

周防灘の基礎生産

各 St. における水柱当りの日生産量 ($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) は、5月に0.22~0.44 (平均0.31)、7月に0.40~0.54 (平均0.45) であった。また St. 別にみると5月、7月とも灘東部の St. 3 で最も高く、中央部の St. 11、西部の St. 17 ではほぼ等しい値が得られた (Table 2)。

考 察

周防灘は瀬戸内海西部に位置し総面積3,100 km^2 、平均深度23.7mで、内海では伊予灘、播磨灘に次いで第3位の規模をもつ灘である (村上1976)。海況調査結果で述べたように、周防灘の水温は南高北低で、高水温期には灘南西部で部分的な高水温域が認められ、停滞域の存在が推察された。一方、塩分は東高西低で、豊後水道系水の流入が示唆される。透明度の分布は西部海域ほど低く、懸濁物が多いと考えられる。神戸海洋気象台 (科学技術庁、印刷中) の報告によると、周防灘は伊予灘から進入してくる外洋系水、灘中・西部の固有水、山口県側の沿岸水、福岡・大分両県側の沿岸水、関門海峡から進入する外洋系水の5水塊に区別され、栄養塩の分布もこの水塊配置と一致している。今回得られた結果もこのような水塊分布を反映するものであった。

周防灘のクロロフィル *a* は $0.15\sim 8.76\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ の範囲にあり、各調査期の平均で $1.54\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。日本周辺海域で報告されている値は、瀬戸内海で $0.11\sim 7.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (遠藤1970)、内湾性の強い東京湾で $5\sim 200\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (市村・小林 1964)、伊勢湾で全域全層の平均 $4.17\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (岩崎1983)、福岡湾で平均 $7.5\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (米他1964)、長崎湾で平均 $5.03\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (入江他1965) であり、周防灘の値は内湾域の値より低いが、従来瀬戸内海で得られた値と一致した。また外洋域である黒潮域の $0.1\sim 0.2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ や親潮域の $0.4\sim 0.7\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (SAIJO and ICHIMURA 1960) の値よりは高い。したがって周防灘のクロロフィル *a* は、外洋域ほど低くなく内湾水域に準ずる値とみなすことができる。

表層におけるクロロフィル *a* の水平分布と海況との関係を見ると、水温、塩分とは良い対応がみられないが、透明度とよく似た分布を示している (Fig. 2 および 5)。各 St. における平均クロロフィル *a* (対数値) と透明度の関係を見ると (Fig. 8)、両者の間には各調査時とも負の相関が認められ、SAIJO and ICHIMURA (1960) が黒潮や親潮水域で観察した結果と一致した。しかし、全調査期のデータを総合した時の相関係数は -0.67 であり、また1982年7月には沿岸寄りの St. でクロロフィル *a* が低いにも拘らず透明度が高くな

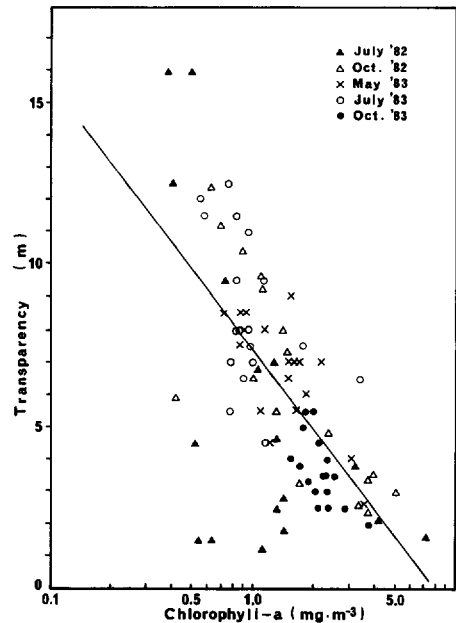
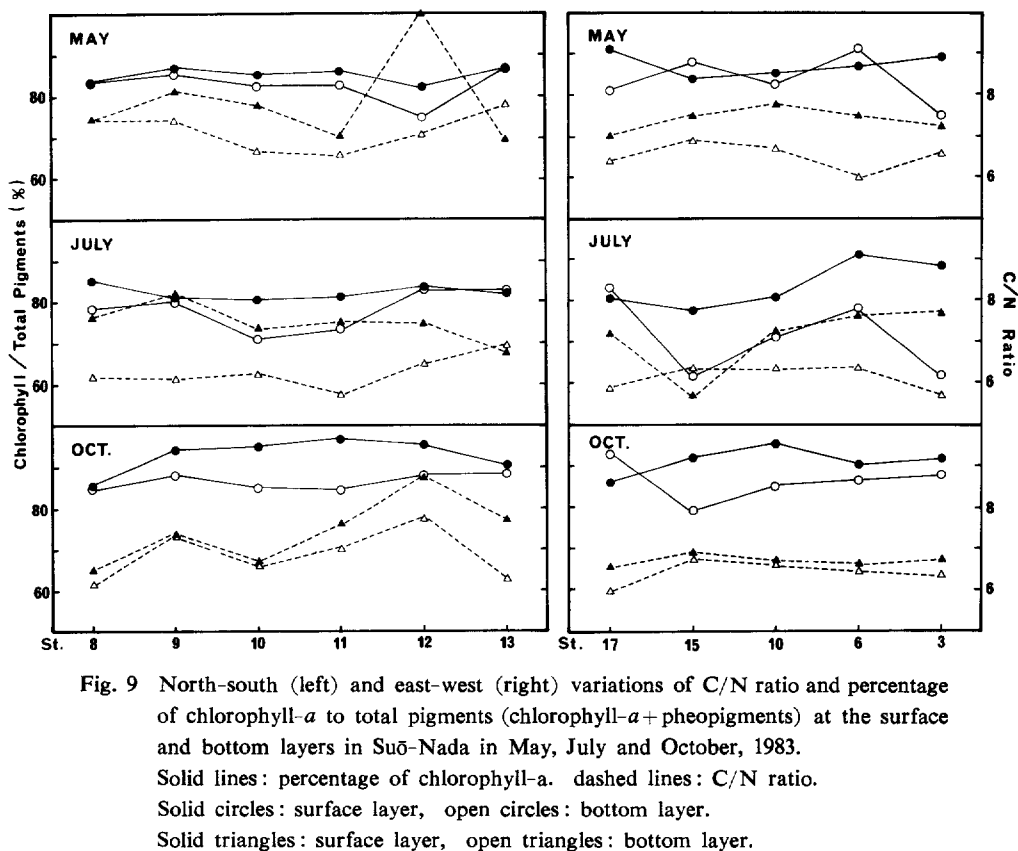


Fig. 8 Relationship between chlorophyll concentration and transparency in Suō-Nada on the semi-logarithmic scale.

いことが認められた。これは沿岸域では陸水あるいは底泥に由来する非植物プランクトン態懸濁物の影響が、透明度に大きく関与しているためと考えられる。

クロロフィル *a* の鉛直分布は、成層の発達した1983年5月と7月には底層で高く表層で低い傾向が認められた。このような亜表層におけるクロロフィル極大の要因については、沈降してきた老化植物プランクトンの集積とその層における栄養条件の好転に伴う再増殖 (STEELE and YENTSCH 1960), 底層付近の低照度に適応した植物プランクトンの増殖 (STEMMANN NIELSEN and HANSEN 1959) 等が考えられている。底層付近のクロロフィル極大が老化細胞の沈降によるとすれば、C/N 比の増大, 全植物色素 (クロロフィル *a* + フェオ色素) 当りのクロロフィル *a* 比の低下が考えられる。ここで Fig. 1 に示す南北 (St. 8-13) および東西線 (St. 17-3) における C/N 比および植物色素当りのクロロフィル *a* 比を見ると (Fig. 9), C/N 比は殆んどの St. で表層より底層で低く、ほぼ6~8の範囲で推移していた。FUKAMI *et al.* (1981) は後期対数増殖期の植物プランクトンの C/N 比は6程度と報告している。一方、底層における全植物色素当りのクロロフィル *a* 比は、表層に比べて若干低いものの70~80%であり、SAIJO *et al.* (1969) が黒潮域表層で報告している60~80%と一致しているが、クロロフィル極大層での値 (30~50%) よりもかなり高い。以上の結果は、周防灘では底層付近にも増殖中の植物プランクトンが存在す



ることを示唆するものである。したがって、成層期の底層におけるクロロフィル極大は、植物プランクトンの沈降集積よりも、底泥からの栄養塩の補給と水深の割に透明度が高いことによる光条件とに支えられた、植物プランクトンの増殖の結果形成されたと考えられる。しかし、基礎生産は1983年7月の St. 17 では比較的高いものの、St. 11 ではほとんど0であり、また低照度下におけるクロロフィル分解速度の減少 (SAIJO *et al.* 1969) や、植物プランクトン死細胞上での細菌の増殖による C/N 比の低下 (FUKAMI *et al.* 1981) 等の報告もあり、底層におけるクロロフィル極大の成因については、今後更に検討する必要がある。

植物プランクトン現存量の計算には、有光層以深のクロロフィル *a* は含まれない場合があった。植物プランクトンの生産を検討する際には、有光層以深を無視しても問題はないであろうが、動物プランクトンの餌料としては下層のものも大きな意味を持つと思われる。しかし、有光層深度が水深を上回る場合が多かったため、現存量は多少過少推定されるものの、大きな問題はないであろう。クロロフィル *a* および炭素量に換算した植物プランクトン現存量の5回の調査の総平均は、それぞれ $22.2\text{mgChl}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.89\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、これに基づき面積を乗じて求めた周防灘全域の現存量は、炭素量で2,759トンであった (Table 1)。

^{13}C 法で測定した水柱当りの日生産量は、5月で St. の平均 $0.31\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 、7月で $0.45\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ であった。この値はこれまで瀬戸内海で報告された ^{14}C 法による値、燧灘の暖月平均0.42 (ENDO and OKAICHI 1977) や瀬戸内海全域の $0.12\sim 0.95\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ (遠藤1970) とほぼ一致した。外洋域においては SAIJO and ICHIMURA (1960) が黒潮域で $0.05\sim 0.1\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 、親潮域で $0.2\sim 0.4\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ という値を報告しているが、周防灘の値は親潮域にほぼ等しい。また、Ass. No. は5月で1.0~2.3、7月で4.8~11.0 $\text{mgC}\cdot\text{mgChl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。黒潮表層域の $0.3\sim 0.7$ 、親潮域の $3\sim 6\text{mgC}\cdot\text{mgChl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (SAIJO and ICHIMURA 1960) に比べると、周防灘で得られた値はかなり高く、基礎生産の効率は良いようである。2回の調査に基づく計算によれば、周防灘における年間基礎生産量は平均 $139\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Yr}^{-1}$ であり (Table 2)、灘全体では炭素量で年間43万トンと計算される。遠藤 (1970) は瀬戸内海全域の基礎生産量を年間200万トンと見積っているが、周防灘の面積が瀬戸内海全体の1/7であることを考慮すると、本研究で得られた値は瀬戸内海の平均を若干上回っている。

なお、漁業生産との関係を見るため遠藤 (1970) に従い基礎生産量 (湿重量) を求めると430万トンとなる。多々良 (1981) は同海域において漁業を通して利用された基礎生産量が1975年以降280万トン前後であると推定しており、これは本研究で求めた基礎生産量の65%にあたる。また科学技術庁振興調整費「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」第1期総合報告書：瀬戸内海水域 (科学技術庁、印刷中) によれば、1963—81年の周防灘の年平均漁獲量53,000トンによって消費された植物プランクトンの推定生産量は268万トンで、炭素量に換算すると16万トンとされている。同報告によればこの水域では、漁獲物の30~50%が投棄されると見積られているので、今回測定した基礎生産量の70%程度が漁業により消費されると推定される。したがって基礎生産の大部分が漁業生産により利用されていることになり、周防灘における漁業による基礎生産利用効率の高さがうかがえる。しかし、海域の基礎生産と漁業によるその利用との関係を

詳細に論議するには、現状では双方とも基礎情報が十分とは言えず、今後の研究の進展を待つ必要がある。

摘 要

周防灘における植物プランクトン現存量と基礎生産量を把握するため、1982—83年にかけてクロロフィル *a* の測定および¹³Cトレーサー法による現場吊下げ実験を実施して下記の知見を得た。

(1)周防灘におけるクロロフィル *a* は0.15~8.76mg·m⁻³の範囲にあり、平均では1.54mg·m⁻³と他の内湾域に比べると低い値であった。

(2)クロロフィル *a* の水平分布は一般に灘西部で高く東部にゆくほど低くなる傾向が認められた。鉛直的には成層期の底層付近にクロロフィル極大が認められたが、これは老化した植物プランクトンの沈降集積によるよりも、底層付近での植物プランクトンの増殖による可能性が高いことが示唆された。

(3)平均クロロフィル *a* 濃度と透明度との間には、外洋で報告されているように負の相関が認められたが、沿岸域においては透明度の変動に植物プランクトン以外の懸濁物が関与していることが認められた。

(4)水柱当りの基礎生産量は、1983年5月に平均0.31、同7月に0.45gC·m⁻²·day⁻¹であり、これまでに瀬戸内海で報告されている値とほぼ一致した。また、単位クロロフィル当りの基礎生産速度は5月に1.0~2.3、7月に4.8~11.0 mgC·mgChl⁻¹·h⁻¹と外洋域に比べて高く、基礎生産の効率の良さがうかがえた。

(5)周防灘全域における植物プランクトン現存量は、炭素量に換算して2,759トンであり、また同海域における年間の基礎生産量は139 gC·m⁻²·Yr⁻¹で、灘全体では炭素として年間に43万トンが生産されると推定された。

引 用 文 献

- 岩崎英雄, 1983: 沿岸域保全のための海の世界科学. 平野敏行編, 恒星社厚生閣, 東京, 570pp.
- 遠藤拓郎, 1970: 瀬戸内海の一次生産に関する研究. 広大水畜産学部紀要, 9, 177-221.
- ENDO, T. and T. OKAICHI, 1977: In "Productivity of Biocenoses in coastal regions of Japan. JIBP SYNTHESIS, vol. 14". eds. HOGETSU, K. et al., Univ. Tokyo press, 394pp.
- 科学技術庁: 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究. 第1期総合報告書: 瀬戸内海水域. (印刷中).
- 藤本敏昭・渡辺昭二・寺田和夫, 1979: 周防灘西部の海況 (5年間のとりまとめ). 福岡豊前水試研究業務報告, 昭和52年度, 73-94.
- FUKAMI, K., U. SHIMIDU and N. TAGA, 1981: Fluctuation of the communities of heterotrophic bacteria during the decomposition process of phytoplankton. J. exp. mar. Biol. Ecol., 55, 171-184.

周防灘の基礎生産

- HAMA, T., T. MIYAZAKI, Y. OGAWA, T. IWAKUMA, M. TAKAHASHI, A. OTSUKI and S. ICHIMURA, 1983: Measurement of photosynthetic production of marine phytoplankton population by using a stable ^{13}C isotope. *Mar. Biol.*, **73**, 31-36.
- 市村俊英・小林弘, 1964: 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連会報, **11**, 6-8.
- 松平康雄, 1964: 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連会報, **11**, 24-73.
- 村上彰男, 1976: 瀬戸内海の海域生態と漁業. フジ・テクノシステム, 東京, 415pp.
- RILEY, G. A., 1965: A mathematical model of regional variations in plankton. *Limnol. Oceanogr. Suppl.*, **10**, R202-R215.
- SAIJO, Y. and S. ICHIMURA, 1960: Primary production in the Northwestern Pacific Ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **16**, 139-145.
- SAIJO, Y., S. IIZUKA and O. ASAOKA, 1969: Chlorophyll maxima in kuroshio and adjacent areas. *Mar. Biol.*, **4**, 186-196.
- 西条八東, 1975: クロロフィルの測定法. 日本陸水学会誌, **36**, 103-109.
- SLAWYK, G., Y. COLLOS and J. C. AUCLAIR, 1977: The use of the ^{13}C and ^{15}N isotopes for the simultaneous measurement of carbon and nitrogen turnover rates in marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, 925-932.
- SLAWYK, G., Y. COLLOS and J. C. AUCLAIR, 1979: Reply to comment by Fisher et al. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 695-697.
- SLAWYK, G. and Y. COLLOS, 1982: ^{13}C and ^{15}N uptake by marine phytoplankton: II Results from a tropical area (Guinea Dome). *Rapp. p. -v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, **180**, 209-213.
- STEEMANN NIELSEN, E., 1952: The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **18**, 117-140.
- STEEMANN NIELSEN, E. and V. K. HANSEN, 1959: Light adaptation in marine phytoplankton and its interrelation with temperature. *Physiol. Plant.*, **12**, 353-370.
- STEELE, J. H. and C. S. YENTSCH, 1960: The vertical distribution of chlorophyll. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **39**, 217-226.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSONS, 1968: A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, No. 167, 311pp.
- 多々良薫, 1981: 基礎生産と漁獲量との関係, 一漁業による基礎生産の利用一. (瀬戸内海におけるモデル計算), (綜述). 南西水研報, (13), 111-133.
- 米康夫・竹下貢二・田中於菟彦・富山哲夫, 1964: 福岡湾の基礎生産. 日本プランクトン研連会報, **11**, 9-11.
- 吉岡貞範, 1983: 山口県周防灘および沿岸海域の海況について. 山口内海水試報, **11**, 50-67.