

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

遠 藤 拓 郎

(広島大学水畜産学部水産学科)

On Primary Production in Bingo-Nada of Seto Inland Sea

I. Primary Production and Hydrographic Condition

Takuo ENDO

*Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,
Hiroshima University.*

(Text-figs. 1-12)

緒 言

海洋における基礎生産については、多くの研究がなされている、しかし、増・養殖漁場として重要な沿岸水域については、研究も少なく、不明な点が多い。そこで、1962—3年度に文部省総合研究“日本沿岸養殖漁場における海洋基礎生産に関する総合研究”(代表 松平康雄)が行なわれた。

本研究は、この総合研究の一環として、瀬戸内海の備後灘において、一カ年調査したものである。

御指導と御援助をいただいた広島大学松平康雄教授、小山治行助教授、弘田礼一郎博士に感謝する。また調査方法の御教示および一部の資料分析を担当された名古屋大学西条八束助教授、坂本充博士に感謝する。調査にあたり御協力いただいた広島大学実習船“豊潮丸”の上領善一船長ほか乗組員の方々、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する。

調 査 方 法

調査の方法は、先にのべた基礎生産総合研究において統一した方法²⁾によったので、ここではその概略についてのべる。

調査は、瀬戸内海備後灘に2定点を設けて、昭和37年9月から翌38年9月までの一カ年間、毎月一回小潮に近い日に行った。なお観測は、クロロフィル量の日変化等を考慮して、午前中に行った。採水は、バンドン採水器を使用し、水面下0.5m、透明度の深度(T)、および透明度の2倍深度(2T)の3層について行った。

分析は、塩素量・溶存酸素量・Silicate-Si・Phosphate-Pについては、“海洋観測指針⁴⁾”によって測定した。

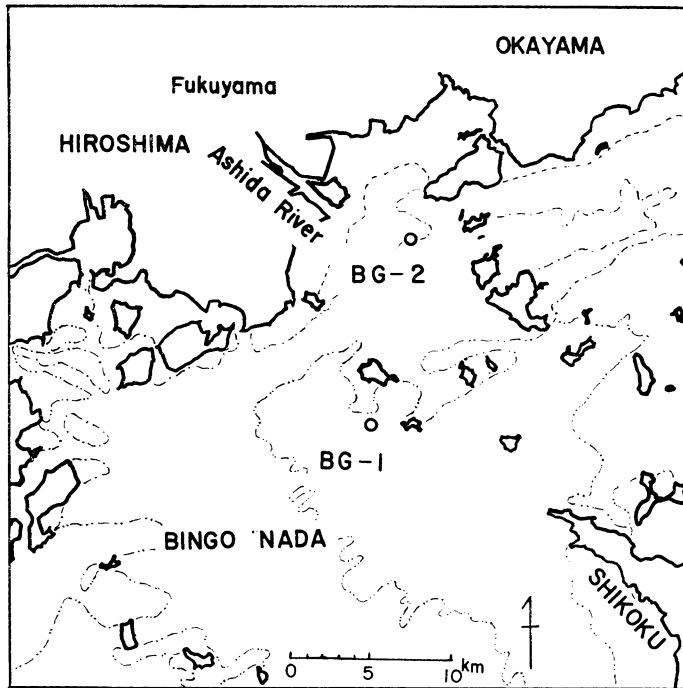
クロロフィル量は、試水をミリポアフィルターAA(47mm)で濾過し、のち定量した²⁾。

光合成量は、¹⁴Cを用い、タンク法によって測定した²⁾。光の照射は蛍光灯を用いて、12,000ルクス、測定時の水温は流水式で現場水温に近く保った。また、現場の海中に明暗両瓶を吊り下げる現場実験⁶⁾を、数回行った。

クロロフィル量および光合成量の測定・計算は、名古屋大学西条助教授のところをお願いした。この他、セッキ板による透明度の測定、水温の測定を行った。

調査海域の概況

調査を行った備後灘は、東西に広がる瀬戸内海のほぼ中央に位置し、Text-fig. 1 にみるように、東西には多くの小島嶼があり、その間の狭い瀬戸を通して、他の灘につながっている。また南は燧灘に、北



Text-fig. 1. Map of the stations.

は笠岡湾につながる、この笠岡湾につながる部分の西端に芦田川の河口がある。

定点は、BG-1 と BG-2 の 2 点であり、水深は共に浅く、BG-1 では 22m、BG-2 では 10m である。

この海域は、潮差の大きいことが特徴的で、平均潮差は約 2m、小潮時で 1.3m もある。

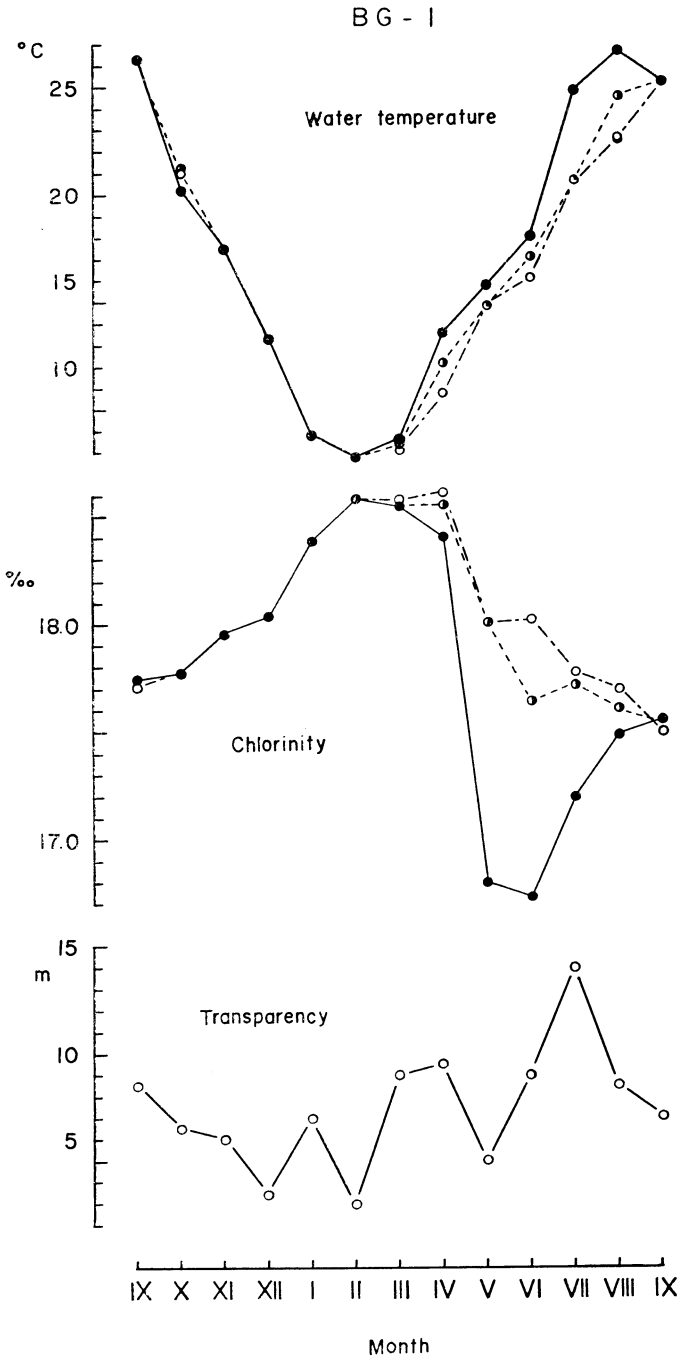
なお、この調査期には、北にある笠岡湾の一部において埋立工事が行われており、また一時は、BG-2 の西側で水路の浚渫工事が行われた。

海 況

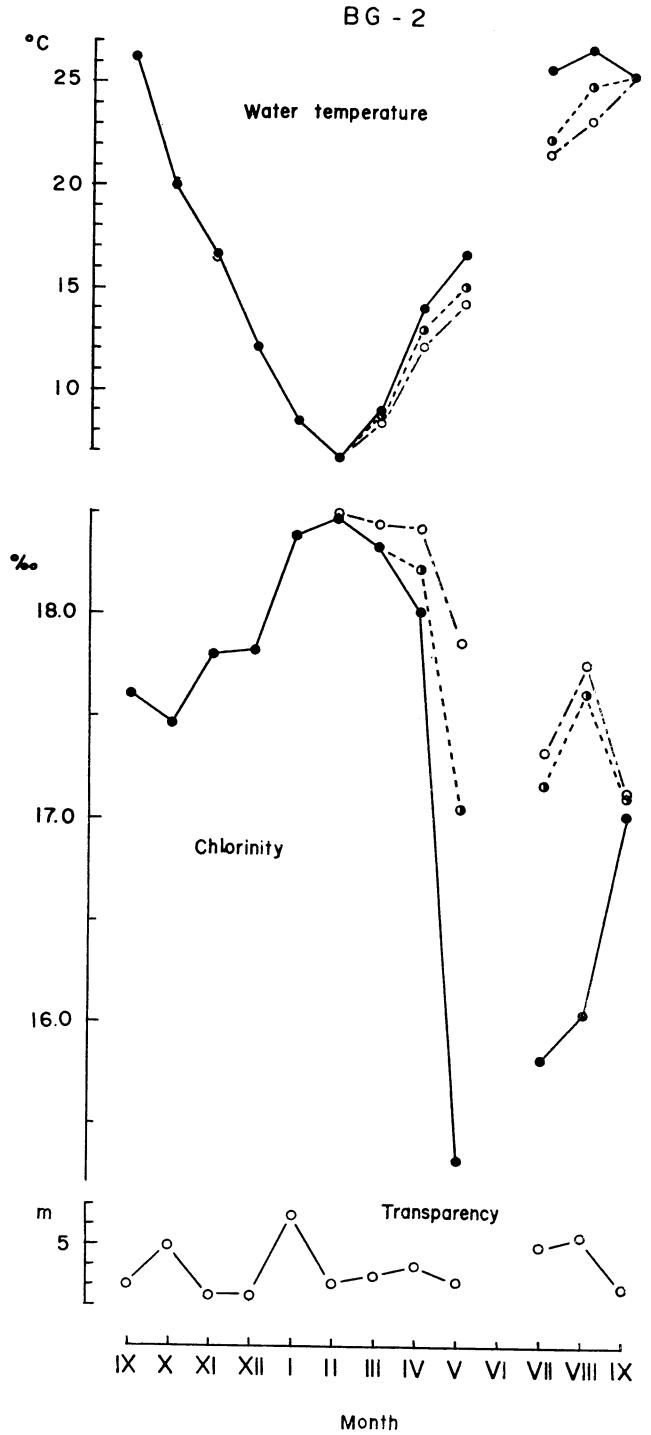
調査結果の数値は、“日本プランクトン研究連絡会報第11号 (1964)²⁾” に掲載したので省略する。

1. 水 温

BG-1 における水温の年変化は、Text-fig. 2. にみるように、9月より徐々に低下してゆき、2月に最低で 7.8°C を示す。その後は徐々に上昇して、8月に最高を示し、0.5m 層で 26.7°C である。年較差はかなり大きく、0.5m 層で 19°C におよぶ。上層と下層で温度差のみられるのは 3～8月の間であり、7・8月にその差は大きい。



Text-fig. 2. Seasonal changes of water temperature, chlorinity and transparency (Secchi disc) at BG-1.
 —●— 0.5m layer, ...●... transparency layer,
 —○— double depth of transparency.



Text-fig. 3. Seasonal changes of water temperature, chlorinity and transparency (Secchi disc) at BG-2.

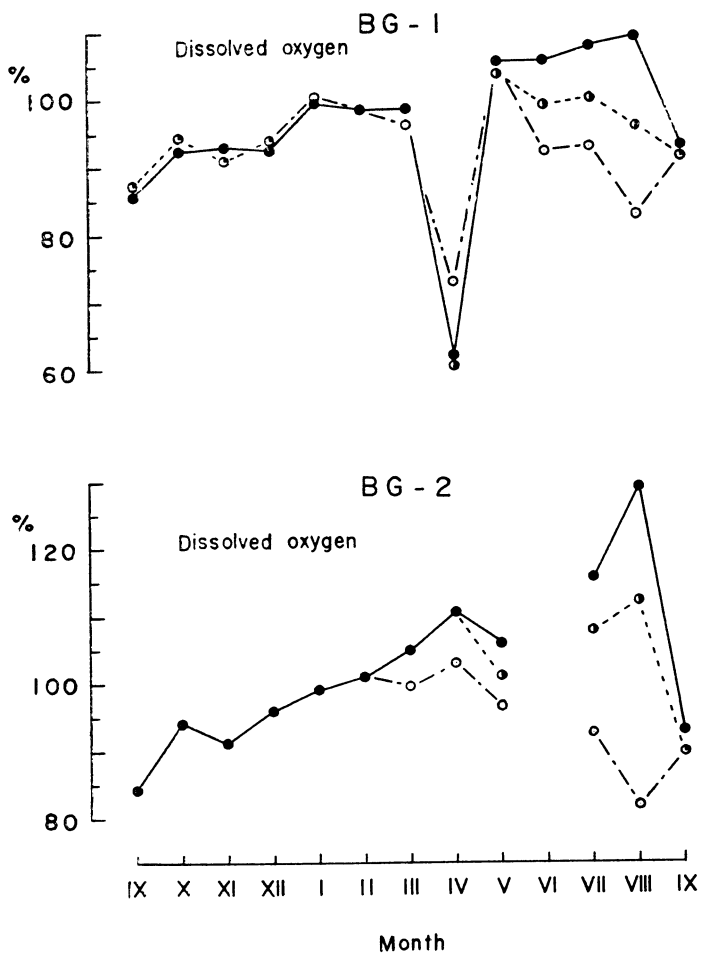
BG-2における年変化は、Text-fig. 3 にみるように、傾向はBG-1のそれと同じであるが、2月の最低水温は更に低く6.8°C、最高は8月0.5m層の26.8°Cである。年較差はBG-1より1°C大きく、20°Cであり、水温に上下層の差がみられるのも、BG-1と同じ3~8月で、7・8月に著しい。

両定点における水温を比較すると、10~2月にはBG-2の方が低く、3~7月には逆にBG-2の方が高い。

2. 塩素量

BG-1における塩素量の年変化は、Text-fig. 2 にみるように、9月より徐々に増加し、2月の0.5m層およびT層では年の最高となり18.58%である（2T層では4月の18.61%）。3・4月に多少の増減をみるが、5月に降水のため急激に減少し、ことに0.5m層において著しい。0.5m層では6月に更に減少し、最低の16.74%を示し、7月以後9月まで徐々に増加する。T層・2T層では、5月以降減少の傾向を示して9月に至る。年較差は、0.5m層において1.8%であり、上層と下層に塩素量の差がみられるのは4~8月で、5・6月にその差は大きい。

BG-2における変化は、Text-fig. 3にみるように、BG-1よりやや複雑である。9月より10月に低く、



Text-fig. 4. Seasonal changes of dissolved oxygen (saturation percentage) at BG-1 and 2

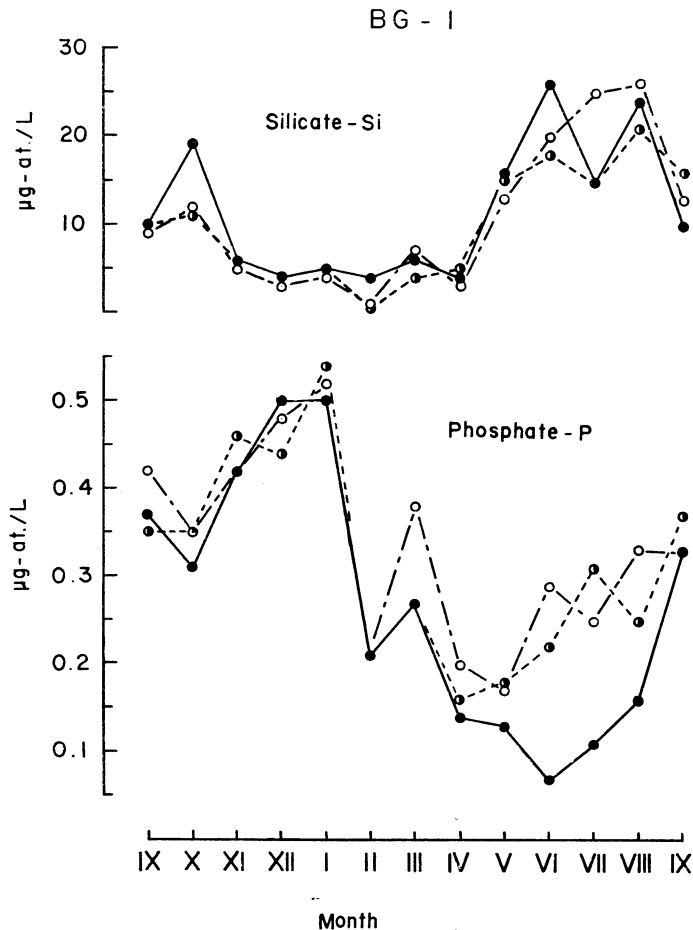
その後は徐々に増加してゆき、2月に最高で18.50% (0.5m層およびT層では18.48%)となる。3・4月と多少減少し、5月にはBG-1と同様に急激に減少すること、0.5m層においてそれは著しく、最低の15.34%となる。6月は欠測で不明である。7月以降0.5m層では9月まで増加してゆくが、T層および2T層では増減を行い9月に至る。年較差は大きく、0.5m層では3.1%であり、また上層と下層に塩素量の差のみられるのは3~9月であり、5・7月に著しい。

両定点における塩素量を比較すると、多少の例外はあるが、BG-1の方が大きい値を示す。

3. 溶存酸素量

BG-1における溶存酸素量は、Text-fig. 4にみるように、4月を除いて最小は8月2T層(14m)の82.8%であり、最大は同じ8月の0.5m層で109%である。年変化は、9月以降多少の昇降を併いながらも傾向としては増加しつつ3月に至る。4月に著しく小さい値を示すが、この原因は明らかでない。5月には全層共に100%を越え、過飽和となる。その後0.5m層では増加しつつ8月に最高を示す。しかしT層および2T層では100%以下になり、この6~8月には上層と下層とに酸素量の差が大きくなる。9月には0.5m層では減少し、2T層では増加して、上下層の差も小さくなる。

BG-2においては、Text-fig. 4にみるように、最大は8月0.5m層の129%、最小は9月2T層の80%



Text-fig. 5. Seasonal changes of Silicate-Si and Phosphate-P at BG-1.

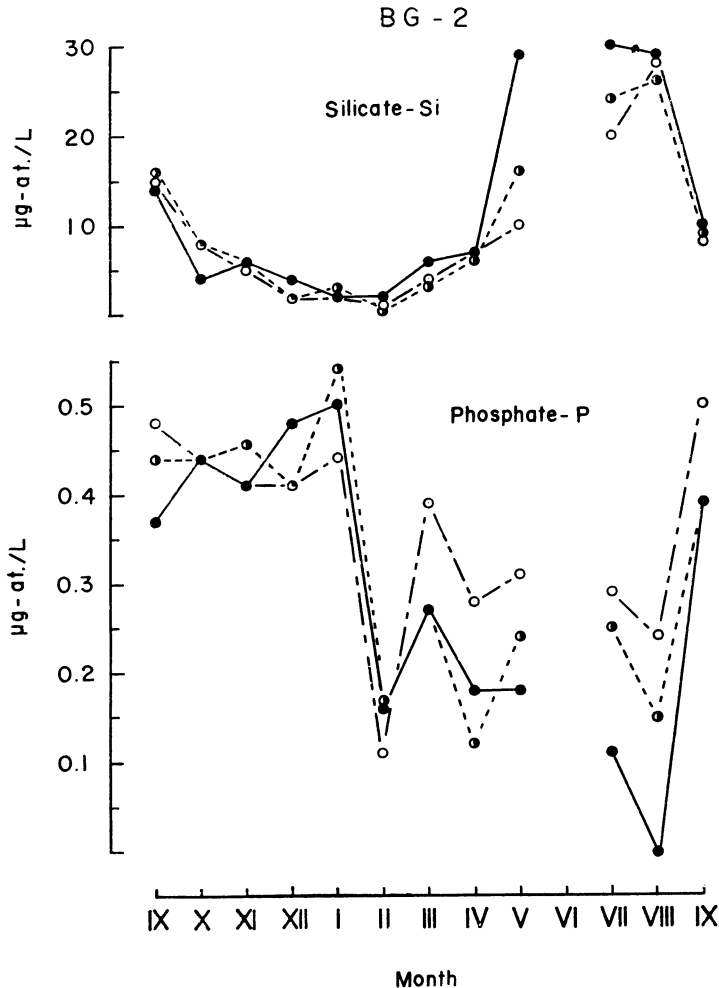
である。年変化は、BG-1 と似ており、9月以降多少の昇降を伴いながら、増加の傾向を示し、2月には100%を越える。その後0.5m層では増加の傾向を示し、8月に最高となる、しかし下層では増加の傾向はみられず、2 T層ではむしろ8月にかけて減少を示し、上下層の差が大きい。9月には0.5m層では減少、2 T層では増加をみせ、上下の差は小さい。

両定点の間における差は明瞭でない。

4. Silicate-Si

BG-1 における Silicate-Si は、Text-fig. 5 にみるように、最大は6月0.5m層と8月2 T層にみられ、 $26\mu\text{g-atom/L}$ であり、最小は2月T層の $0.5\mu\text{g-atom/L}$ である。年変化としては、5月から8月にかけては多く、 $13\mu\text{g-atom/L}$ 以上であり、11月から4月には少なく $6\mu\text{g-atom/L}$ 以下である。9・10月には層によって大きな値をみることがある。

BG-2では、Text-fig. 6 にみるように、最大は7月0.5m層の $30\mu\text{g-atom/L}$ であり、最小は2月T層の $0.5\mu\text{g-atom/L}$ である。年変化では、7・8月の全層および5月の表層に多く $20\mu\text{g-atom/L}$ 以上であり、



Text-fig. 6. Seasonal changes of Silicate-Si and Phosphate-P at BG-2.

10～4月には少なく $8\mu\text{g-atom/L}$ 以下である。

2 定点を比較すると、Si の多い時期である 5～8月には、BG-2 の方が大きい値を示し、10月には BG-1 の方が多い。

一般に塩素量の大きい時期には、Si は少なく、塩素量の小さい水に Si が多い傾向が認められる。

5. Phosphate-P

BG-1 における Phosphate-P は、Text-fig. 5 にみるように、最大は1月T層の $0.54\mu\text{g-atom/L}$ であり、最小は6月0.5m層の $0.07\mu\text{g-atom/L}$ である。年変化は、9月から1月にかけては多く、 $0.31\mu\text{g-atom/L}$ 以上あり、2～8月には下層の数値を除いて一般に少なく $0.3\mu\text{g-atom/L}$ 以下である。

BG-2 では、Text-fig. 6 にみるように、最大は1月T層の $0.54\mu\text{g-atom/L}$ であり、最小は8月0.5m層の零である。年変化は BG-1 と似ており、9～1月には多く $0.37\mu\text{g-atom/L}$ 以上あり、2～8月には3・5月の2T層を除いて $0.3\mu\text{g-atom/L}$ 以下である。

定点の間における相違は明瞭でない。

6. 透 明 度

BG-1 における透明度は、Text-fig. 2 にみるように、最大は7月の14mであり、最小は2月の3mである。年変化は複雑で、5m以下を示すのは12・2・5月、10m以上を示すのは7月のみであり、他の月は6～9.5mである。

BG-2 では、Text-fig. 3 にみるように、最小は11・12月の2.5mであり、最大は1月の6.5mである。5mより大きい値を示すのは10・1・7・8月の5カ月である。

両定点を比較すると、BG-1 の方が大きい。

透明度を決定する要因として、植物プランクトン量、陸水の流入にともなう懸濁物のほかに、この水域では水深が浅く、風による波のため底土がわき上り透明度に影響を与える場合もある。6月の BG-2 において、低気圧通過後に水が茶褐色になったのを観察した。

7. 海 況 の 総 括

この備後灘は、瀬戸内海において最も内湾的傾向の強い水域のひとつと云われており、以上みてきた海況からもこの傾向がうかがわれる。

水温は、年較差が大きく、ことに岸寄りの BG-2 において著しい。

塩素量は、周年低く、また陸水の影響を強く受けて、著しい塩素量の低下をみることがある。この傾向は表層において、また BG-2 において著しい。

溶存酸素量は、周年多く、ことに6～8月には過飽和になることがある。また下層にも比較的多く、周年80%以上もある。

透明度は、小さく、10mを越したものは1例にすぎない。

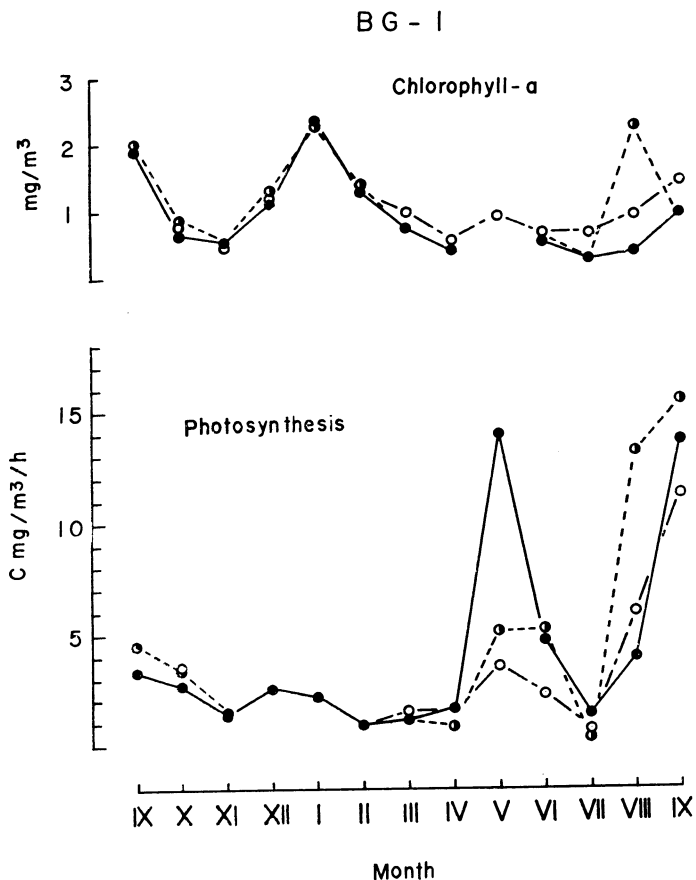
水温の躍層、また塩素量等に上・下層で著しい差がみられるのは、4～8月の間である。

基 礎 生 産 量

調査結果の数値は、“日本プランクトン研究連絡会報第11号 (1964)”²⁾ に掲載したので省略する。

1. クロロフィルa量

BG-1におけるクロロフィルa量は、Text-fig. 7にみるように、最大は1月2 T層の $2.38\text{mg}/\text{m}^3$ であ



Text-fig. 7. Seasonal changes of chlorophyll *a* contents and photosynthesis at BG-1.

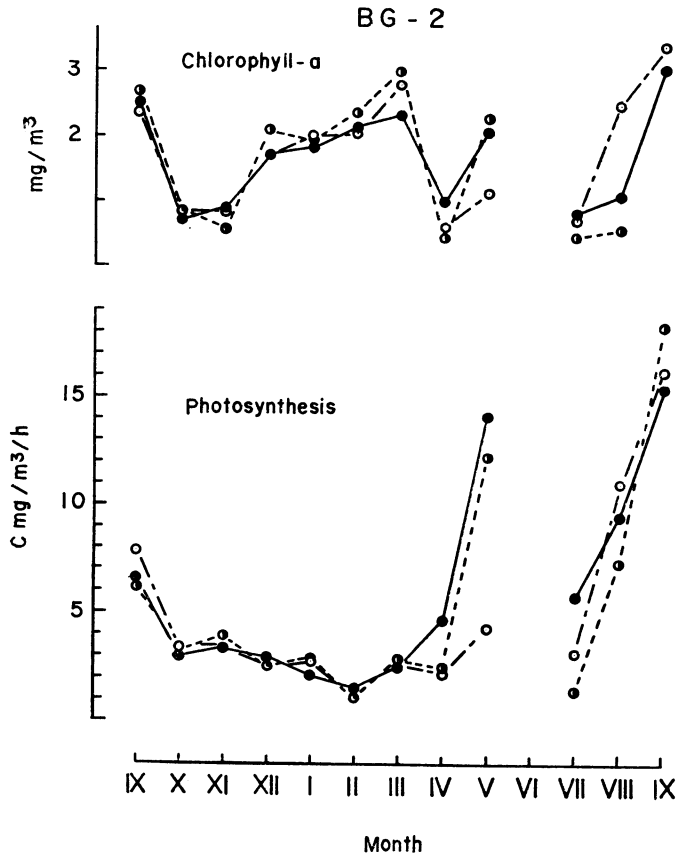
り、最小は7月T層の $0.24\text{mg}/\text{m}^3$ である。年変化は、5月の資料がないが、9月と1月に山をつくる、3~9月の2 T層および8月のT層は他の層に比して大きな値を示す。

BG-2では、Text-fig. 8にみるように、最大は9月2 T層の $3.4\text{mg}/\text{m}^3$ であり、最小は4月T層の $0.45\text{mg}/\text{m}^3$ である。年変化は、9月より10月に急激に減少し、以後増加の傾向を示し3月に至る。4月には少なく、5月に多い、6月は欠測、7月、8月の0.5m層・T層は少なく、9月には急激に増加する。3~8月には層の間で値がかなり異なる。

両定点を比較すると、一般にBG-2の方が大きい値を示す。

2. タンク実験による光合成量

BG-1における光合成量は、Text-fig. 7にみるように、最大は9月T層の $15.4\text{Cmg}/\text{m}^3/\text{h}$ であり、最小は7月T層の $0.3\text{Cmg}/\text{m}^3/\text{h}$ である。年変化は、9月から11月にかけて減少してゆき、12月に一旦増加するが、その後2月にかけてまた減少する。3・4月は2月より大きい値を示し、5月には急激に増加し、0.5層において著しい、6、7月には減少する。8月に増加しことにT層において著しい、9月に



Text-fig. 8. Seasonal changes of chlorophyll *a* contents and photosynthesis at BG-2.

は更に増加する。4～9月には層の間で値がかなり異なる。

BG-2では、Text-fig. 8にみるように、最大は9月T層の $18.3\text{Cmg}/\text{m}^3/\text{h}$ であり、最小は2月2T層の $1.03\text{Cmg}/\text{m}^3/\text{h}$ である。年変化は、9月から多少の増減を伴いながら減少の傾向をみせ、2月に至る。3・4月は2月より大きい値を示し、5月に急激に増加することにより0.5m・T層において著しい。6月は欠測、7月は小さい。8・9月には各層とも著しい値の増加をみせる。4～9月には層の間で値がかなり異なる。

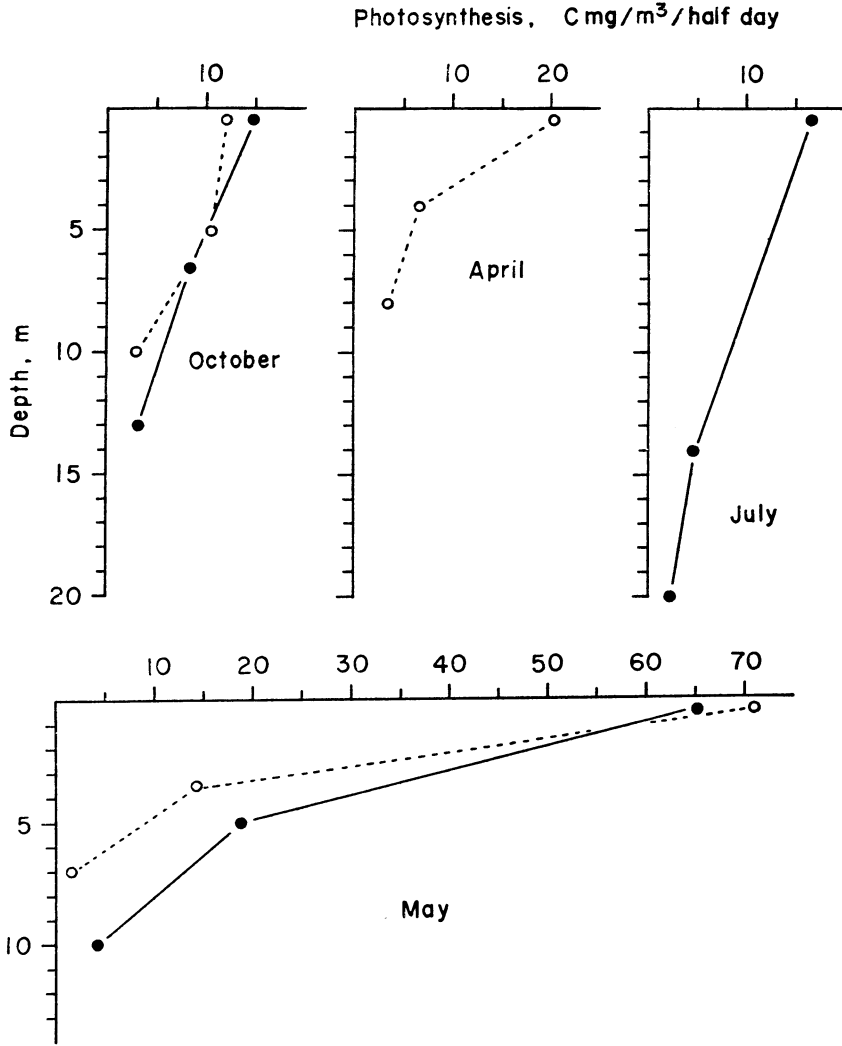
両定点を比較すると、BG-2の方が大きな値を示す。

3. 現場実験による光合成量

研究方法の項で述べたように、明瓶・暗瓶を採水層に下げて、半日間において測定した光合成量である⁸⁾。

Text-fig. 9にみるように、上層は下層に比して大きな値を示し、0.5m層、T層、2T層の順に値は小さくなる。これは上の層に水中照度の大きいことが主な原因である。

2T層においても光合成がみられるが、その値は小さい。いま呼吸量の測定を行っていないので十分な考察は出来ないが、補償深度はこの2T層付近にあると考えられる。そしてこの2T層は多くの場合底層に近い。



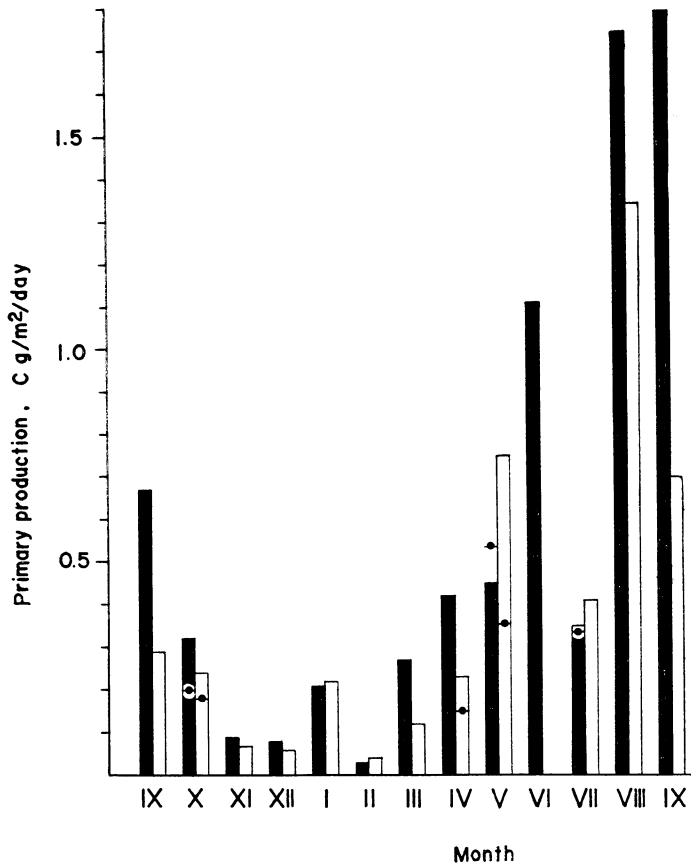
Text-fig. 9. Photosynthesis by *in situ* experiments.
 —●— BG-1, BG-2.

兩定点において、同一の月（測定した日は一日前後している）に測定した値を比較してみると、層によって大小があり、一定の傾向はみとめられない、そこで2 T層までの光合成量を積算して比較すると、10月にはBG-1で99 ($C\text{mg}/m^2/\text{half day}$), BG-2では90であり、5月にはそれぞれ267, 117であって、BG-1の方が大きい。ただしこれは測定日が異なり、光の条件も同一でない。

4. 基礎生産量

この基礎生産量は、名古屋大学の坂本充博士が、各月におけるタンク実験による光合成量、透明度および日射量から、一日当りの生産量を算出する式を作り、計算されたものである²⁾。

Text-fig. 10 にみるように、BG-1においては、9月より11月にかけて減少し、12月は11月とほぼ同じ値を示す。1月に一旦大きくなるが、2月には減少して年の最低で $0.03C\text{g}/m^2/\text{day}$ となる。3月以



Text-fig. 10. Seasonal changes of primary production per day.

■ BG-1 } by M. SAKAMOTO's calculation,
 □ BG-2 }
 -.- in situ experiment.

降増加を続け、6月に山を作り、7月には減少する。8・9月と増加し、9月には最高で $1.79\text{C g/m}^2/\text{day}$ を示す。

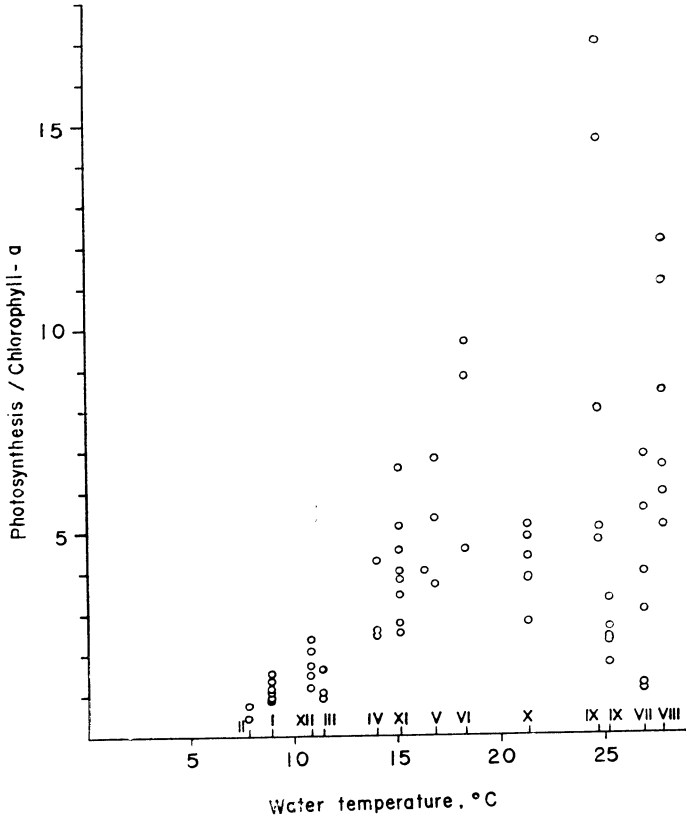
BG-2においては、BG-1とほぼ同様の傾向をみせ、9月より12月まで減少してゆき、1月に一つの山を作り、2月には最低で $0.04\text{C g/m}^2/\text{day}$ を示す。3月より5月にかけて増加してゆく、6月は欠測、7月は小さな値を示す。8月には最高で $1.34\text{C g/m}^2/\text{h}$ であり、9月には減少する。

兩定点を比較すると9・10・3・4・8月はBG-1の方が大きく、5・7月にはBG-2の方が大きな値を示す。

この坂本氏の基礎生産量と、先に述べた現場実験による半日の光合成量を2倍した値とを比較してみる。Text-fig. 10にみるように、両者はよく一致する場合(BG-1の5・7月、BG-2の10月)もあるが、著しく異なる場合(BG-2の5月)もみられる。これは坂本氏の値がタンク実験の値と各月の平均日射量を用いて計算してあり、一方は現場実験の値ではあるが呼吸量の補正をしておらず、また測定が曇の日当たったこと等によって、これらの相違が出たと考えられる。これらの点についてはなお検討を要する。

考 察

タンク実験における、クロロフィル a 量当りの光合成量をみると、Text-fig. 11 に示すように変化の巾は大きく、0.44~17.0の範囲にあるが、大部分は6以下である。この値は水温の高いほど大きくなる傾



Text-fig. 11. Correlation of photosynthesis per chlorophyll a to water temperature.

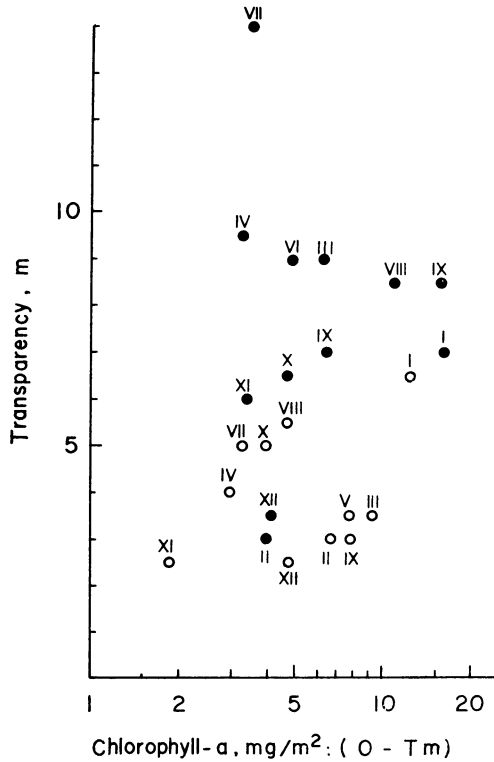
向がみられる。しかし、同一の測定水温においても、定点の間で、また層によりかなりの相違がみられることがあり、水温以外にも大きな影響を与えている要因のあることが考えられる。

次に、濁りについてであるが、いま透明度とクロロフィル a 量（表層から透明度層までの積算）を比較すると、Text-fig. 12 になる。両者の間には、一定の関係はみとめられず、クロロフィル a 量は同じでも透明度はかなり異なる。これはこの水域では、植物プランクトン以外の濁りの変動によって透明度が変化すると考えられる。両定点を比較すると、一般に BG-2 の方がクロロフィル a 量に対する透明度が小さく、植物プランクトン以外の濁りが多い。

栄養塩について考察すると、いま一日の基礎生産に必要なPの量を、C:P=40:1 (STRICKLAND⁹) による)として、Cに坂本氏の算出した基礎生産量を用いて計算する。一方現存量としては、Phosphate-P量を表層から2T層まで積算する。両者を比較するとTable 1にみるように、Pの現存量の方が大きくて必要量の1.3~70倍もあるが、基礎生産が盛んに行なわれる5~9月にはその比が小さく1.3~5.2倍にすぎない。一方、Phosphate-Pの年変化をみると、全般に値が小さく、また基礎生産の増減との関係がみられず、更に5月等の塩素量の低下に伴うであろうと考えられるPの増加がみられないことから、

Table 1. Ratios of dissolved amounts of phosphate-P and Silicate-Si to the amounts assimilated by primary production, and the ratios of primary production to standing crop. (The water column from Om down to twice of the Secchi disc depth was considered.)

		Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fed.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sept.
<u>Phosphate-P content in water</u>	BG-1	11	17	70	51	43	49	25	9.3	4.4	3.9	16	3.0	3.3
P assimilated by primary production	BG-2	11	23	37	45	31	28	22	8.3	2.8	—	5.2	1.3	4.5
<u>Silicate-Si content in water</u>	BG-1	8.1	17	27	11	11	13	13	6.4	12	12	37	6.1	3.6
Si assimilated by Primary production	BG-2	11	9.8	14	10	4.2	6.2	8.8	8.1	6.0	—	17	8.0	2.7
<u>Primary production</u>	BG-1	0.73	1.1	0.71	0.32	0.22	0.13	0.64	1.8	—	3.6	1.6	3.0	3.9
Standing crop as C	BG-2	0.64	1.0	0.60	0.22	0.35	0.10	0.21	1.4	1.9	—	2.5	3.1	—



Text-fig. 12. Correlation of chlorophyll *a* contents (in the water column from 0m to the Secchi disc depth) to transparency (Secchi disc).
● BG-1, ○ BG-2

Pの現存量は不足しており、とくにPの少ない2～8月には、基礎生産の制限因子となっているとも考えられる。

同様にしてSiについて、C:Si=1:0.8 (STRICKLAND¹⁾³⁾ による)として計算する。両者を比較すると、やはり現存量の方が大きく、必要量の3～37倍ある。Siについては、この比は全般に小さいが、基礎生産の盛んな時期に現存量が大きいため、現存量の不足はないと考える。

ここに用いたC/P、C/Siは植物プランクトンの種類や時期により変動¹⁾³⁾⁵⁾⁹⁾、その吟味も不十分であり、また栄養塩の補充量についても不明であるので今後の検討を要する。

最後に、基礎生産量と現存量とを比較してみる。いまクロロフィル*a*:C=1:30 (STRICKLAND⁹⁾による)として現存量を計算し、基礎生産量として坂本氏の値を用いる。両者を比較すると、生産量は現存量の0.10～3.9倍もあり、4～9月に大きい。このクロロフィル*a*とCの比も種類や時期によって変動することが知られており³⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁹⁾、その吟味も行っていないが、このように大きな生産量が、次の月への現存量として残ることなく、消失していることは興味ある問題である。

文 献

1) ANTIA, N. J., MC ALLISTER, C. D., PARSONS, T. R., STEPHENS, K. and STRICKLAND, J. D. H. 1963. Further measurements of primary production using a large-volume plastic sphere. *Limnol. and Oceanogr.* 8: 166-183.

- 2) 松平康雄 他, 1964. 日本沿岸水域基礎生産総合研究結果.
日本プランクトン研究連絡会報. 11号 : 24-73
- 3) MC ALLISTER, C. D., PARSONS, T. R., STEPHENS, K. and STRICKLAND, J. D. H. 1961.
Measurements of primary production in coastal sea water using a large-volume plastic sphere.
Limnol. and Oceanogr. **6** : 237-258.
- 4) 日本海洋学会 (編) 1955. 海洋観測指針. 252P.
- 5) PARSONS, T. R., STEPHENS, K. and STRICKLAND, J. D. H. 1961.
On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Bd. Canada.*
18 : 1001-1016.
- 6) STEELE, J. H. and BAIRD, I. E. 1961. Relations between primary production, chlorophyll and
particulate carbon. *Limnol. and Oceanogr.* **6** : 68-78.
- 7) STEELE, J. H. and BAIRD, I. E. 1962. Further relations between primary production, chloro-
phyll and particulate carbon. *Limnol. and Oceanogr.* **7** : 42-47.
- 8) STEEMANN NIELSEN, E. 1952. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic
production in the sea. *J. du Cons.* **18** : 117-140.
- 9) STRICKLAND, J. D. H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish.*
Res. Bd. Canada. No. 122. 172P.

SUMMARY

In order to know the magnitude of primary production in the Bingo-nada area in the central part of the Seto Inland Sea, the photosynthesis (by ^{14}C method) and the chlorophyll contents were measured at the two stations, BG-1 and -2. The measurements were carried out once a month from September 1962 to September 1963.

Seasonal changes of the hydrographic conditions are shown in Text-figs. 2-6. Secchi disc depth is small in this area, especially at BG-2.

The results of primary production measurements are shown in Text-figs. 7-10. The primary production is within the range of 0.03-1.79 g/m²/day as Carbon; it is relatively great in May, June, August and September, and relatively small in November, December and February.

The ratio of the photosynthesis determined by the tank experiment to chlorophyll *a* content is smaller than 6 in most of the cases. The ratio tends to increase as water temperature rises; at the same temperature, however, it sometimes varies remarkably among stations or layers, suggesting that this ratio is affected not only by temperature but also by some other factor(s) (Text-fig. 11).

No correlation is found between the chlorophyll *a* content (in the water column from Om to the Secchi disc depth) and the Secchi disc depth (Text-fig. 12).