— 論 文 —

瀬戸内海における窒素・リンの現存量比率^{*†}

林 美鶴[‡]・柳 哲雄^{**}・橋本 俊也^{††}

要 旨

橋本ら (1996) による瀬戸内海全域の季節別水質調査結果を基に、窒素・リンの形態別現存量比率、及び DIN/DIP の季節変動について議論した。DIP : DOP : POP は各季節で変動するが、年平均ではおよそ 1 : 1 : 1 の割合で、窒素についても同様の傾向が見受けられた。基礎生産は、瀬戸内海東部海域ではリンに、西部海域では窒素に律速される傾向がある。

キーワード : 瀬戸内海, 栄養段階, 栄養塩, 基礎生産

1. 目 的

瀬戸内海における生物生産過程の特性を把握するためには、物質循環過程や栄養塩・植物プランクトンなどの分布を明らかにする必要がある。松田 (1996) は、瀬戸内海の各灘・湾における栄養塩の流入量や現存量、および各栄養段階における生物現存量を 3 段階で評価し、大阪湾では生物生産が最も活発な富栄養海域であり、一方紀伊水道・安芸灘・伊予灘では水質は良好且つ貧栄養的海域であるなどの特徴をまとめた。Hashimoto and Takeoka (1998) は簡単なボックスモデルを用いて、大阪湾・備讃瀬戸・安芸灘・広島湾では主に栄養塩の水平輸送が基礎生産を制御するのに対して、播磨灘・燧灘・伊予灘・周防灘では栄養塩の鉛直輸送が基礎生産を制御していることを指摘した。また、基礎生産を支える栄養塩の供給源として、大阪湾・広島湾では河川からの流入、播磨灘・燧灘・伊予灘・周防灘では底層からの湧昇、備讃瀬戸では河川からの流入及び栄養塩の再生産、安芸灘では栄養塩の再生産が

主であることを示した。塚本・柳 (1998) は、釜山-神戸間のフェリー観測データから瀬戸内海における水温・塩分・pH・栄養塩・クロロフィル a 濃度の空間分布および季節変動特性を解析し、栄養塩やクロロフィル a 濃度の変動傾向が燧灘東部を境界として東西で異なることを指摘している。

橋本ら (1996) は瀬戸内海全域の季節別水質調査を実施した。この調査結果に基づく瀬戸内海の海洋環境の概要が山本 (1996)、多田 (1996)、Hashimoto *et al.* (1997) などにより論じられている。しかし、この調査データを基にした瀬戸内海の各灘における窒素やリンの形態別分布特性、N/P 比、Si/P 比に関する特性などはまだ報告されていない。本稿では既往の研究をふまえて、橋本ら (1996) の調査結果を基に、窒素、リン、及び珪素の形態別濃度を灘別・季節別に求め、それらの分布特性について論じる。

2. 使用データ

橋本ら (1996) は 1993 年 10 月、1994 年 1 月、4 月、及び 6 月の計 4 回にわたり、Fig. 1 に黒点で示す瀬戸内海の 39 測点において水質調査を実施した。観測項目は、水温・塩分・各層採水による溶存態全窒素 (DTN: Dissolved Total Nitrogen)、亜硝酸態窒素 + 硝酸態窒素、アンモニア態

* 1998 年 12 月 28 日 受領; 1999 年 9 月 2 日 受理

† 著作権: 日本海洋学会, 2000

‡ 神戸商船大学; 〒 658-0022 神戸市東灘区深江本町 5-1-1. E-mail : mitsuru@cc.kshosen.ac.jp

** 九州大学応用力学研究所; 〒 816-8580 春日市春日公園 6-1

†† 広島大学生物生産学部; 〒 739-8528 東広島市鏡山 1-4-4

Fig. 1. Division of the Seto Inland Sea according to the vertical mixing condition. Filled circles show the observation stations by Hashimoto *et al.*(1996).

窒素, 懸濁態有機窒素 (PON: Particulate Organic Nitrogen), 溶存態全リン (DTP: Dissolved Total Phosphorus), 溶存態無機リン (DIP: Dissolved Inorganic Phosphorus), 懸濁態有機リン (POP: Particulate Organic Phosphorus), 珪酸態珪素 (Si), クロロフィル a 濃度などである。観測・分析方法の詳細については, 橋本ら (1996) を参照されたい。

3. 解析方法

橋本ら (1996) により観測された測定値から, (亜硝酸態窒素 + 硝酸態窒素) 及びアンモニア態窒素の合計として溶存態無機窒素 (DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen) を求めた。また (DTN-DIN) として溶存態有機窒素 (DON: Dissolved Organic Nitrogen) を, (DTN+PON) として全窒素 (TN: Total Nitrogen) を求めた。同様に (DTP-DIP) として溶存態有機リン (DOP: Dissolved Organic Phosphorus) を, (DTP+POP) として全リン (TP: Total Phosphorus) を求めた。

また, Parsons *et al.*(1984) が「増殖が活発な植物プランクトン群集での値」として示した単位クロロフィル a 当たりの炭素の重量濃度比 ($C : Chl.a = 30 : 1$), 及びレッド

フィールド比 ($C : N : P = 106 : 16 : 1$ 元素比) を用いて, 単位クロロフィル a 当たりの窒素の重量濃度比 ($N : Chl.a = 5.28 : 1$), 単位クロロフィル a 当たりのリンの重量濃度比 ($P : Chl.a = 0.73 : 1$) を仮定し, この係数と観測されたクロロフィル a 濃度から植物プランクトン含有の窒素 ($Chl.a N$) 及びリン ($Chl.a P$) の濃度を推定した。さらに (PON- $Chl.a N$) 及び (POP- $Chl.a P$) を, それぞれ (動物プランクトン + デトリタス) 含有の窒素及びリンとした。

橋本ら (1997) は, 基礎生産量の時空間変動を議論する上で, 海洋物理学的観点からの海域区分の必要性を指摘しており, 成層状態の季節変動特性から Fig. 1 に示すような海域区分を行っている。それによると, 瀬戸内海は A(大阪湾北部), B(大阪湾南部), C(播磨灘), D(備讃瀬戸), E(燗灘), F(安芸灘), G(広島湾北部), H(伊予灘・周防灘), I(速吸瀬戸) の 9 つの海域に分けられている。そこで本稿では, 橋本ら (1996) の観測値から上述の方法により求めた DIN, DON, DIP, DOP, Si, 及び上述の方法により著者らが推定した $Chl.a N$, (PON- $Chl.a N$), $Chl.a P$, (POP- $Chl.a P$) を上記の A~I 海域毎に平均して, 海水中における窒素・リンの形態別現存量比率, 及び DIN・DIP・Si の現存量比を灘別・季節別に求めた。

4. 結果及び考察

4.1. 形態別現存量比率

a) 窒素

生物活動が活発な4月・6月にはDINの現存量割合は総じて低く、瀬戸内海平均では4月で15%、6月で12%であった(Fig. 2-a)。特に、4月のE海域(燐灘)~H海域(伊予灘・周防灘)の瀬戸内海西部海域ではDINの現存量割合は1~3%と低く、植物プランクトン含有窒素の1/10~1/2程度である(Table 1)。最も現存量割合が高いのはDONで、瀬戸内海平均では4月で41%、6月では60%を占めていた。DINは活発な基礎生産によって消費されて現存量が減り、低次生産に伴う分泌や排出によって窒素の多くが有機態として溶存している事がうかがえる。

これに対し1月は、DINの現存量割合が瀬戸内海平均で54%、植物プランクトン含有窒素の12倍を占める。冬季は基礎生産量が小さいため、植物プランクトン含有窒素の現存量割合は最も高いD海域(備讃瀬戸)及びE海域(燐灘)に於いても7%程度である。

10月は、植物プランクトン含有窒素が瀬戸内海平均で12%を占めており、4月(7%)・6月(5%)の約2倍となっている。DINも10月の瀬戸内海平均で48%を占めており、4月・6月に比べ約3~4倍の現存量割合を示している。また10月のDON(17%)は、4月(41%)や6月(60%)の1/3~1/2以下である。このことについてはTada *et al.* (1998)が、秋季観測期間前の1993年6~9月は例年に比べ降水量が多く河川からの栄養塩供給が多かったため、1993年10月のクロロフィル濃度は例年より高かったことを示している。多量に供給された栄養塩は基礎生産を活発にしたが、取り込まれきれなかった無機態窒素が多く残留していたと推測できる。

海域別では、G海域(広島湾北部)において年平均の植物プランクトン含有窒素は12%で、1月を除き年間を通じて比較的高い現存量割合を保っている(Fig. 2-a)。橋本ら(1997)によれば、G海域は年間を通じて成層状態にあり、また水深に対する有光層深度の比率が高いことが示されている。G海域では底層からの栄養塩輸送量は少ないものの、年間を通じて河川から多量の栄養塩が供給され、有光層での基礎生産が活発となり、無機態窒素が

植物プランクトンに取り込まれやすいものと考えられる。

これに対し、G海域と同様に年間を通じて成層状態にあるA海域(大阪湾北部)では、植物プランクトン含有窒素割合は年平均で7%(DINの7分の1)と現存量割合が低い(Fig. 2-a)。橋本ら(1997)によれば、A海域は瀬戸内海において最も基礎生産が活発な海域である。しかし、それ以上に陸域からの栄養塩供給が過剰なため、有機態に取り込まれなかった栄養塩の割合が高くなっていると考えられる。

b) リン

リンの形態別現存量比率の時間・空間変動特性はほぼ窒素の特性に準じるが、4月・6月のDIPの現存量割合(瀬戸内海平均で4月27%、6月20%)がDIN(4月15%、6月12%)に比べて大きい点、またDOPの現存量割合(瀬戸内海平均で4月31%、6月27%)がDON(4月41%、6月60%)に比べて小さい点が異なる(Fig. 2-b)。この傾向は特にE海域(燐灘)~H海域(伊予灘・周防灘)の瀬戸内海西部海域で顕著であり、DINの現存量割合は5%以下なのに対して、DIPの現存量割合は11~37%を占め、明確な違いを見せている。これに対し、瀬戸内海平均での植物プランクトン含有リンの現存量割合(4月7%、6月9%)は、窒素のそれ(4月7%、6月5%)と大きな違いはない。このことは、基礎生産が活発な時期には、瀬戸内海西部海域での基礎生産が窒素によって制限を受け、DIPが植物プランクトンに取り込まれ切れず残留している可能性を示唆している。

DOP、DIP、POPの現存量割合は各季節でかなり異なった様相を見せているが、各海域とも年平均では、おおよそ1/3ずつの割合で分布している。窒素についても多少の海域差があるが、年平均の瀬戸内海平均ではDON、DIN、PONの現存量割合は、ほぼ1/3ずつである。

4.2. Si/DIP 及び DIN/DIP

Si/DIPは1月を除いておおむね西で高く東で低い傾向を示した(Fig. 3-a)。ほとんどの場合でW. M. Darley(1977)により示された珪藻中のSi/Pモル比である32を上回っており、リンに対して珪素が一次生産の制限要素となることはないと考えられる。Si/Pが32を下回っ

Table 1. Standing stocks and proportion of TN, DOP, DIN, Chl.aN, PON-Chl.a, TP, DOP, Chl.aP, POP-Chl.aP and Si for each season and annual average at areas of A to I classified in Fig. 1.

	Area	standing stocks					proportion					standing stocks					proportion					standing stocks	
		TN (μM)	DON (μM)	DIN (μM)	Chl.aN (μM)	PON-Chl.aN (μM)	DON : DIN	Chl.aN : PON	-Chl.aN (μM)	TP (μM)	DOP (μM)	DIP (μM)	Chl.aP (μM)	POP-Chl.aP (μM)	DOP : DIP	Chl.aP : POP	-Chl.aP (μM)	Si (μM)					
Autumn (Oct.93)	A	23.02	1.89	14.26	2.63	4.23	1	8	1	2	1.42	0.21	0.67	0.16	0.37	1	4	1	2	20.76			
	B	12.98	1.11	6.73	1.95	3.19	1	6	2	3	0.87	0.12	0.32	0.12	0.31	1	3	1	3	14.93			
	C	14.28	4.10	4.89	2.51	2.79	2	2	1	1	0.84	0.22	0.16	0.16	0.30	1	1	1	2	17.38			
	D	17.96	3.50	10.21	1.44	2.81	2	7	1	2	1.07	0.18	0.46	0.09	0.34	2	5	1	4	20.19			
	E	14.08	4.12	4.03	1.51	4.42	3	3	1	3	0.84	0.18	0.29	0.09	0.28	2	3	1	3	18.28			
	F	9.71	1.14	6.53	0.68	1.38	2	10	1	2	0.55	0.18	0.27	0.04	0.06	4	6	1	1	22.71			
	G	11.30	2.14	3.72	2.46	2.99	1	2	1	1	0.72	0.28	0.17	0.15	0.11	2	1	1	1	31.82			
	H	9.93	2.64	2.85	0.99	3.46	3	3	1	4	0.58	0.09	0.19	0.06	0.23	1	3	1	4	21.61			
	I	7.02	0.11	4.82	0.40	1.68	1	43	4	15	0.50	0.09	0.24	0.02	0.15	4	9	1	6	21.92			
	Avg.	13.36	2.31	6.45	1.62	2.99	1	4	1	2	0.82	0.17	0.31	0.10	0.24	2	3	1	2	21.07			
Winter (Jan.94)	A	32.70	2.41	25.96	1.56	2.77	2	17	1	2	1.42	0.59	0.48	0.10	0.26	6	5	1	3	40.65			
	B	17.21	1.23	13.95	0.49	1.53	2	28	1	3	1.02	0.39	0.49	0.03	0.11	13	16	1	4	29.98			
	C	15.37	4.75	7.71	0.83	2.09	6	9	1	3	0.93	0.31	0.28	0.05	0.29	6	5	1	6	28.02			
	D	13.24	6.55	3.44	0.89	2.36	7	4	1	3	0.79	0.25	0.21	0.06	0.27	5	4	1	5	26.48			
	E	13.98	6.43	4.57	0.99	2.00	7	5	1	2	0.58	0.11	0.28	0.06	0.13	2	5	1	2	22.02			
	F	10.82	4.49	4.76	0.49	1.09	9	10	1	2	0.42	0.05	0.23	0.03	0.10	2	8	1	3	15.41			
	G	15.63	4.87	8.64	0.61	1.51	8	14	1	2	0.62	0.15	0.35	0.04	0.08	4	9	1	2	22.49			
	H	11.56	6.57	2.42	0.58	1.99	11	4	1	3	0.39	0.08	0.14	0.04	0.13	2	4	1	3	10.28			
	I	12.15	5.37	6.16	0.22	0.39	24	28	1	2	0.30	0.00	0.27	0.01	0.01	1	134	7	6	10.38			
	Avg.	15.85	4.74	8.62	0.74	1.75	6	12	1	2	0.72	0.21	0.30	0.05	0.15	5	7	1	3	22.86			
Spring (Apr.94)	A	24.43	4.61	6.02	1.79	12.01	3	3	1	7	1.19	0.13	0.31	0.11	0.63	1	3	1	6	7.97			
	B	13.82	3.68	3.85	0.61	5.69	6	6	1	9	0.75	0.19	0.25	0.04	0.28	5	6	1	7	7.51			
	C	13.78	4.87	2.58	0.55	5.78	9	5	1	11	0.92	0.37	0.21	0.03	0.31	11	6	1	9	12.93			
	D	8.29	4.23	0.85	0.56	2.66	8	2	1	5	0.64	0.25	0.14	0.03	0.22	7	4	1	6	15.01			
	E	7.53	5.44	0.06	0.62	1.40	92	1	10	24	0.58	0.27	0.07	0.04	0.20	7	2	1	5	16.74			
	F	6.97	4.68	0.17	0.51	1.61	27	1	3	9	0.66	0.23	0.24	0.03	0.15	7	8	1	5	15.25			
	G	8.58	3.27	0.27	1.12	3.93	12	1	4	15	0.52	0.17	0.16	0.07	0.12	2	2	1	2	14.05			
	H	7.80	4.70	0.26	0.58	2.25	18	1	2	9	0.41	0.15	0.14	0.04	0.08	4	4	1	2	13.64			
	I	9.61	5.79	0.59	0.43	2.81	13	1	1	7	0.28	0.06	0.11	0.03	0.08	2	4	1	3	11.50			
	Avg.	11.20	4.58	1.63	0.75	4.24	6	2	1	6	0.66	0.20	0.18	0.05	0.23	4	4	1	5	12.73			
Summer (Jun.94)	A	32.22	11.00	7.05	2.05	12.13	5	3	1	6	2.39	0.39	0.60	0.13	1.27	3	5	1	10	25.59			
	B	18.09	10.24	4.81	0.42	2.61	24	11	1	6	0.54	0.24	0.06	0.03	0.21	9	2	1	8	7.40			
	C	18.00	12.02	1.80	0.75	3.44	16	2	1	5	0.37	0.06	0.09	0.05	0.18	1	2	1	4	15.07			
	D	17.49	10.27	2.74	1.05	3.43	10	3	1	3	0.66	0.23	0.12	0.07	0.24	4	2	1	4	21.99			
	E	14.58	10.90	0.76	0.74	2.18	15	1	1	3	0.39	0.08	0.11	0.05	0.16	2	2	1	3	14.68			
	F	13.68	11.08	0.40	0.47	1.73	24	1	1	4	0.29	0.06	0.07	0.03	0.13	2	2	1	4	14.08			
	G	20.56	11.29	0.91	2.46	5.90	12	1	3	7	0.72	0.00	0.08	0.15	0.49	0	1	2	6	19.95			
	H	16.67	11.68	0.85	0.59	3.55	20	1	1	6	0.55	0.24	0.09	0.04	0.18	6	3	1	5	22.16			
	I	16.02	11.69	1.45	0.45	2.43	26	3	1	5	0.65	0.46	0.07	0.03	0.09	16	3	1	3	17.35			
	Avg.	18.59	11.13	2.31	1.00	4.16	11	2	1	4	0.73	0.19	0.15	0.06	0.33	3	2	1	5	17.58			
Annual average	A	28.10	4.98	13.32	2.01	7.79	2	7	1	4	1.61	0.33	0.52	0.13	0.64	3	4	1	5	23.74			
	B	15.52	4.07	7.33	0.87	3.25	5	8	1	4	0.79	0.23	0.28	0.05	0.23	4	5	1	4	14.95			
	C	15.36	6.43	4.24	1.16	3.52	6	4	1	3	0.76	0.24	0.18	0.07	0.27	3	3	1	4	18.35			
	D	14.24	6.14	4.31	0.98	2.81	6	4	1	3	0.79	0.23	0.23	0.06	0.27	4	4	1	4	20.92			
	E	12.54	6.72	2.35	0.97	2.50	7	2	1	3	0.60	0.16	0.19	0.06	0.19	3	3	1	3	17.93			
	F	10.30	5.35	2.96	0.54	1.45	10	6	1	3	0.48	0.13	0.20	0.03	0.11	4	6	1	3	16.86			
	G	14.02	5.39	3.38	1.66	3.58	3	2	1	2	0.64	0.15	0.19	0.10	0.20	1	2	1	2	22.08			
	H	11.49	6.40	1.59	0.69	2.81	9	2	1	4	0.48	0.14	0.14	0.04	0.16	3	3	1	4	16.92			
	I	11.20	5.74	3.26	0.38	1.83	15	9	1	5	0.43	0.15	0.17	0.02	0.08	7	7	1	3	15.29			
	Avg.	14.75	5.69	4.75	1.03	3.28	6	5	1	3	0.73	0.20	0.23	0.06	0.24	3	4	1	4	18.56			

た4月のA・B海域(大阪湾)では、珪酸の現存量がA海域で7.97 μM , B海域で7.51 μM であった(Table 1)。この値は、山本(1998)が示した実験的に得られた珪藻に対する珪酸の半飽和定数0.02~4.96 μM よりも高いが、大阪湾のSi/DIPは年間を通じて他の海域に比べ低く、珪酸により珪藻類の生産が制限される可能性が高い海域だと言える。

DIN/DIPの大きな特徴として、E海域(燈灘)~H海域(伊予灘・周防灘)の瀬戸内海西部海域で、4月では1~2、

6月では6~11となり(Fig. 3-b)、レッドフィールド比16に比べ低い事が挙げられる。この時期DINの現存量は4月では0.06~0.26 μM , 6月では0.40~0.91 μM であった(Table 1)。山本(1998)が示した半飽和定数は植物プランクトン種あるいは海域により値に差や幅があるが、この中で珪藻の*Skeletonema costatum*を例にとるとDINの半飽和定数は0.1~5.9 μM なので、4月と6月の瀬戸内海西部海域でのDIN現存量は半飽和定数を下回っている可能性が高い。すなわち、この時期この海域での基礎生産

Fig. 2. Seasonal variation and annual average of standing stock ratios of nitrogen and phosphorus for each area classified in Fig. 1.

は窒素によって制限され、律速栄養塩が DIN である可能性を示唆している。

李ら(1995)は、1994年6月に広島湾奥部から豊後水道、黒潮域に至る海域に於いて表層水を採取し、栄養塩濃度を分析すると共に培養実験を行って、植物プランクトン律速栄養塩に関する調査を行った。それによると、植物プランクトン律速栄養塩は沿岸河口域ではリン、それ以外では窒素であると結論付けており、本稿の結論と一致している。広島湾奥部の沿岸河口域については、李らは成層強度の強い夏季に表層水のみを採取しているため河川水の影響が強く、リンが律速栄養塩となる結果を示し

Fig. 3. Seasonal variation and annual average of DIN/DIP and Si/DIP mole ratios for each area classified in Fig. 1.

たとえられる。

一方、D 海域(備讃瀬戸)より東方の瀬戸内海東部海域では、ほとんどの季節で DIN/DIP がレッドフィールド比 16 を上回っている。DIP 濃度 (Table 1) の現存量は、全季節の全海域で山本 (1998) が示した *S. costatum* の半飽和定数 $0.68 \mu\text{M}$ を下回っており、瀬戸内海東部海域での基礎生産はリンにより律速されていることが示唆される。大阪湾では、城 (1991) により基礎生産の律速栄養塩がリンであることが指摘されており、そのことは本稿の結果と一致する。総じて瀬戸内海における基礎生産は、東部海域ではリン、西部海域では窒素による律速を受ける傾

向があると言える。塚本・柳(1998)による瀬戸内海全域での DIN, DIP 観測結果においても、この傾向が見受けられる。

謝 辞

貴重なご指摘と、粘り強くご指導を下された査読者並びに編集委員に感謝申し上げます。

References

- Darley, W. M. (1977): Biochemical composition, p198-223. in *The Biology of Diatoms*, ed. by D. Werner, Blackwell Sci. Pub., Berkeley.
- 橋本 俊也, 山本 民次, 多田 邦尚, 松田 治, 永末 寿宏, 多田 充利, 郷 秋雄, 中口 和光 (1996): 瀬戸内海全域の季節別水質調査結果, 広島大学生物生産学部紀要, **35**, 243-278.
- 橋本 俊也, 山本 民次, 多田 邦尚, 松田 治, 永末 寿宏 (1997): 瀬戸内海の一次生産と海洋構造, 沿岸海洋研究, **35**, 109-114.
- Hashimoto, H., T. Hashimoto, O. Matsuda, K. Tada, K. Tainai, S. Uye, and T. Yamamoto (1997): Biological productivity of lower trophic Levels of the Seto Inland Sea, p15-58. in *Sustainable Development in the Seto Inland Sea, Japan*, ed. by T. Okaichi and T. Yanagi, Terra Sc. Pub., Tokyo.
- Hashimoto, T. and H. Takeoka (1998): Analysis of primary production in Seto Inland Sea, Japan, using a simple ecosystem model. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **54**, 123-132.
- 城 久 (1991): 大阪湾の開発と海域環境の変遷, 沿岸海洋研究ノート, **29**, 3-12.
- 李英植, 向井 徹雄, 瀧本 和人, 岡田 光正 (1995): 瀬戸内海西部域, 太平洋における植物プランクトン群集のサイズ構造とその制限栄養塩に関する研究, 水環境学会誌, **18**, 717-723.
- 松田 治 (1996): 漁業を支える環境と低次生産: 低次生産の現状は: 低次生産様式のまとめと提言, p.67-71, 瀬戸内海の生物資源と環境, 岡市 友利, 小森 星児, 中西 弘 編, 恒星社厚生閣, 東京.
- Parsons, T.R., M. Takahashi, and B. Hargrave (1984): Chemical composition: Phytoplankton, 40-49. in *Biological Oceanographic Processes*, 3rd Edition, Pergamon Press, New York.
- 多田 邦尚 (1996): 漁業を支える環境と低次生産: 低次生産の現状は: 植物プランクトン, p.52-56, 瀬戸内海の生物資源と環境, 岡市 友利, 小森 星児, 中西 弘 編, 恒星社厚生閣, 東京.
- Tada, K., K. Monaka, M. Morishita, and T. Hashimoto (1998): Standing stocks and production rates of phytoplankton and abundance of bacteria in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **54**, 285-295.
- 塚本 秀史, 柳 哲雄 (1998): 瀬戸内海の水温・塩分・pH・栄養塩とクロロフィル a の時間・空間変動, 海の研究, **7**, 11-19.
- 山本 民次 (1996): 漁業を支える環境と低次生産: 低次生産の場としての瀬戸内海の環境, p.47-51, 瀬戸内海の生物資源と環境, 岡市 友利, 小森 星児, 中西 弘 編, 恒星社厚生閣, 東京.
- 山本 民次 (1998): 沿岸環境圏の科学: 浅海堆積物: 植物プランクトン, p.144-174, 沿岸の環境圏, 平野敏行監修, フジ・テクノシステム, 東京.

Standing Stock Ratios of Nitrogen and Phosphorus in the Seto Inland Sea

Mitsuru Hayashi,* Tetsuo Yanagi,[†] and Toshiya Hashimoto[‡]

Abstract

On the basis of the field observations of water quality characteristics of the Seto Inland Sea by Hashimoto *et al.* (1996), the seasonal variations in standing stocks of DIN, PON, DIP, POP and Si, and the characteristics of lower trophic level ecosystem in the Seto Inland Sea are discussed. The standing stock ratios of DIP, DOP, and POP are almost same, about 30%, on annual average. Primary production is generally limited by DIP in the eastern part of the Seto Inland Sea, and by DIN in the western part.

key words : Seto Inland Sea, trophic level, nutrients, primary production

(Corresponding author's e-mail address : mitsuru@cc.kshosen.ac.jp)
(December 28, 1998 received; September 2, 1999 accepted)
(Copyright by The Oceanographic Society of Japan, 2000)

*Kobe University of Mercantile Marine, 5-1-1 Fukaehoncho, Higashinada-ku, Kobe 658-0022, Japan

[†]Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasuga-Park, Kasuga 816-8580, Japan

[‡]Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, 1-4-4 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8528, Japan