

新人研修報告 — 天津小湊海域の低次食物連鎖構造について —

塩谷 剛・橋本 絢・小海 茉莉絵

はじめに

千葉県天津小湊沖における春季のプランクトン相については、当社の新人研修の一環としてこれまでに行われてきた調査によって、その出現種や出現数(細胞数・個体数)および組成に関する多くの知見が蓄積されてきている。しかし、これまでの研修報告のほとんどはプランクトン相を水質との関連の面から評価しており、浮遊生態系内におけるプランクトンの生産者あるいは捕食者としての役割について定量的に評価した例はない。

そこで今回の研修では、春季の天津小湊海域におけるプランクトン食物連鎖構造を理解することを目的として、植物プランクトンの生産速度および動物プランクトンの餌要求速度を求め、植物プランクトンから高次の栄養段階へ流れる炭素量の推定を行った。

材料と方法

1. プランクトン生物量調査

プランクトン試料の採集は2004年4月21日に千葉県安房郡天津小湊町地先海域の2測点(St. 1、2: 図1)で行った。

本報告では、動物・植物プランクトンを Sieburth et al. (1978) に従って便宜的に以下のようにサイズで区分した。即ち、0.2 ~ 20 mm の範囲にあるものを中型プランクトン(mesozooplankton)、20 ~ 200 μm を微小プランクトン(microplankton)、2 ~ 20 μm をナノプランクトン(nanoplankton)とした。

中型動物プランクトン試料は、各測点において北原式ネット(NXX 13 目合: 0.093 mm)を用いて表層から水深10 m までを鉛直曳きして採集し、中性ホル

マリン(最終濃度5%)で固定した。固定試料は実験室に持ち帰り、適宜分割して生物顕微鏡下で種の同定および計数を行った。また同時に、既報の換算式(表1)に従って各個体の体長あるいは特定部位の計測値から炭素量(mg C/ind)に換算し、それらに個体数密度(ind./m³)を乗じて、炭素量を基準とした生物量(mg C/m³)を計算した。

微小動物プランクトンおよび植物プランクトン試料は各測点においてバンドーン型採水器(容量6L)により表層0.5 m の海水を採水し、中性ホルマリン(最終濃度5%)で固定した。固定試料は実験室に持ち帰った後、同様に同定、計数を行った。さらに微小動物プランクトンについては、中型動物プランクトンと同様に表1の換算式に従って生物量まで計算した。

2. 希釈培養実験

微小動物プランクトンの植物プランクトンに対する摂餌速度、および植物プランクトンの生産速度は希釈培養法(Dilution method)により求めた。希釈培養法とは、現場海水を濾過海水で希釈することにより、捕食者(微小動物プランクトン)と被捕食者(植物

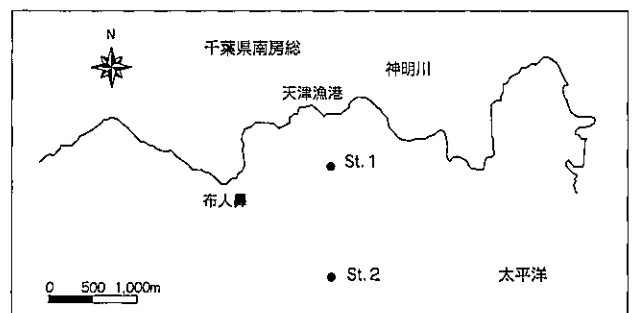


図1 調査測点位置

表1 各プランクトン種およびプランクトン分類群における炭素重量換算式

分類群・種名	式	参考文献
繊毛虫類		
有鐘繊毛虫類	$CW = (444.5 + 0.053 LV) 10^{-6}$	Verity and Langdon(1984)
無殻繊毛虫類	$CW = 0.14 CV 10^{-6}$	Putt and Stoecker(1989)
有孔虫類, 放散虫類	$CW = 0.05 CV 10^{-6}$	Mullin(1969)
ヒドロ虫類		
<i>Oberia</i> sp.	$CW = 10^{-8.71} BD^{2.75}$	弘田(1986), Larson(1986)
枝角類		
<i>Podon, Evadne</i>	$CW = 10^{-10.75} SBL^{4.01}$	Uye(1982)
<i>Penilia</i>	$CW = 10^{-12.74} SBL^{4.51}$	Uye(1982)
カイアシ類		
<i>Paracalanus</i>	$CW = 10^{-8.45} PL^{3.13}$	Uye(1991)
<i>Acartia</i>	$CW = 10^{-8.51} PL^{3.08}$	Uye(1982)
<i>Oithona</i> for PL < 340 μm	$CW = 10^{-5.74} PL^{2.05}$	Uye and Sano(1998)
<i>Oithona</i> for PL < 340 μm	$CW = 10^{-4.25} PL^{1.45}$	Uye(1982)
<i>Microsetella</i>	$CW = 10^{-5.58} BL^{1.95}$	Uye et al.(2002)
Other copepoda	$CW = 10^{-8.37} PL^{3.07}$	Uye(1982)
Nauplius of copepoda	$CW = 10^{-10.82} BL^{2.94}$	Uye et al.(1996)
尾虫類	$CW = 10^{-6.57} TL^{2.49}$	Uye and Ichino(1995)
幼生類		
Polychaeta larvae	$CW = 10^{-5.97} BL^{2.10}$	弘田(1986)
Bivalve veliger	$CW = 10^{-3.45} BL^{1.47}$	弘田(1986)
Decapoda larva	$CW = 10^{-6.42} CL^{3.28}$	弘田(1986)
植物プランクトン		
Diatoms	$CW = 10^{-0.422} CV^{0.758} 10^{-6}$	Strathman(1967)
Except for diatoms	$CW = 10^{-0.460} CV^{0.866} 10^{-6}$	Strathman(1967)

CW: Carbon weight(μg), LV: Lorica volume(μm³), CV: Cell volume(μm³),
 BD: Bell diameter(cm), SBL: Standard body length(μm), PL: Prosome length(μm),
 BL: Body length(μm), TL: Trunk length(μm), CL: Carapace length(μm)

プランクトン)の会合確率を段階的に小さくしていき、これら各希釈段階における被捕食者のみかけの成長速度から、捕食者の摂餌速度と被捕食者の潜在的な成長速度を同時に算出する方法である(Landry and Hassett 1982)。

実験用海水の採取は、各測点においてプランクトン試料の採集と同時に、プラスチックバケツを用いて表層海水(0 m)をそれぞれ20 L採水した。採水した海水は、他の捕食者(中型動物プランクトン以上)を除去するために200 μmのメッシュで濾過した。希釈に用いた濾過海水は、実験用海水をGF/Fフィルター(孔径約0.7 μm)で濾過して作成した。培養には4段階の希釈列(濾過海水に対する実験海水の割合は25、50、75、100%)を設定し、実験中に栄養塩が枯渇するのを避けるためにあらかじめ作成して

おいた栄養塩(Guillard f/2 培地)を添加した後、St. 1の海水を用いた実験1ではそれぞれを1 Lの透明ガラスボトルに、St. 2の海水を用いた実験2ではそれぞれを2 Lの透明プラスチックボトルに満たし、屋外水槽にて24時間の培養を行った。なお各実験において、栄養塩添加によって生じる可能性のある植物プランクトンの成長速度の過大評価を補正するために、栄養塩未添加の非希釈列をコントロールとして作成し、同様の条件下で培養を行った。培養に用いた屋外水槽は、実験海水の採取測点(St. 1、2)と同様の光環境を再現し、また水温は採取時の表層水温から+3°C以内の範囲を維持していた。

実験開始時には未希釈の実験用海水から、終了時には各希釈・非希釈列のボトルから100~500 mlを20 μmフィルターおよびGF/Fフィルターで濾過し、

表2 各プランクトン種およびプランクトン分類群における成長速度関係式

分類群・種名	式	参考文献
繊毛虫類	$\ln g = 1.52 \ln T - 0.27 \ln CV - 1.44$	Müller and Geller(1993)
カイアシ類		
<i>Paracalanus</i>	$g = 0.094 \exp(0.067 T)$	Uye(1991)
<i>Acartia</i>	$g = 0.059 \exp(0.084 T)$	Uye(1980)
<i>Oithona</i>	$g = 0.025 \exp(0.11 T)$	Uye and Shimazu(1997)
<i>Microsetella</i>	$g = 0.0062 \exp(0.12 T)$	Uye and Shimazu(1997)
Other copepoda	$g = 0.077 \exp(0.17 T)$	Uye and Shimazu(1997)
Nauplius of copepoda	$g = 0.057 \exp(0.069 T)$	Uye et al.(1996)
尾虫類		
<i>Oikopleura</i>	$g = 0.077 \exp(0.13 T)$	Uye and Ichino(1995)

g : Growth rate(d^{-1}), T : Water temperature($^{\circ}C$), CV : Cell volume(μm^3)

暗黒下で冷凍保存した。これらのフィルターは実験室に持ち帰った後、90%アセトン抽出蛍光法によって20~200 μm (微小植物プランクトン)と20 μm 未満(ナノ植物プランクトン以下)の二つのサイズ区分のクロロフィル a 濃度を測定し、Landry and Hassett(1982)の直線回帰モデルに基づいて植物プランクトンの成長速度(d^{-1})と微小動物プランクトンの摂餌速度(d^{-1})を求めた。なお、クロロフィル a 濃度は、炭素/クロロフィル a 比=40(Andersen et al. 1991)を用いて炭素量に換算した。

3. 炭素フロー図の作成

ここまでの調査および実験で得られた植物・動物プランクトンの生物量、成長速度および摂餌速度を用いて、各測点の有光層内において各プランクトン分類群間を流れる炭素の概略図(炭素フロー図)を作成した。

植物プランクトンの日間生産速度(PP : $mg C/m^3/d$)は、各サイズ毎の植物プランクトン生物量の有光層内における積算平均値(PB : $mg C/m^3$)、希釈培養実験で求めた全植物プランクトンの増殖速度(μ : d^{-1})および現場の透明度から求めた光消散係数(k : m^{-1})、有光層深度(z : m)から、以下の品田ら(2000)の式を用いて算出した。

$$PP = PB \{ \exp(\mu) - 1 \} \cdot \alpha$$

$$\alpha = [1 - \exp(-kz)] / k/z$$

ここで α は水中での光の減衰を考えた場合の補正項である。光消散係数(k)は、Poole and Atkins(1929)の式 $k = 1.7/D$ を用いて、セッキ板で測定した透明度(D : m)から換算した。また有光層深度(z)は、Aruga and Monsi(1962)の式 $z = 2.67 \cdot D$ を用いて同じく透明度から換算した。なお、本調査では植物プランクトン生物量は表層の値しか得られていないため、ここでは有光層内の植物プランクトン生物量は一様であり表層と同値であると仮定した。また、植物プランクトンの増殖速度は全てのサイズで一定であると仮定した。

植物プランクトンの沈降速度(PEP : $mg C/m^3/d$)は、Wassmann(1990)の式 $PEP = 0.049 PP^{1.41}$ を用いて植物プランクトンの日間生産速度(PP)から算出した。

微小動物プランクトン群集の日間生産速度($mg C/m^3/d$)は、繊毛虫類については各細胞体積と水温によって決定される増殖速度(d^{-1} ; 表2)、カイアシ類ノープリウス幼生については水温によって決定される増殖速度(d^{-1} ; 表2)を用いて算出した。また、その生産速度を総成長効率(0.4; Fenchel 1987)で除して日間餌要求速度($mg C/m^3/d$)を算出した。

中型動物プランクトン群集の日間生産速度($mg C/m^3/d$)は、カイアシ類と尾虫類については水温によって決定される増殖速度(d^{-1} ; 表2)を用いて算出した。上記以外の中型動物プランクトンにつ

表3 小湊沖に出現した中型動物プランクトンの食性

食性	分類群・種名	参考文献
Herbivorous	有鐘織毛虫類	神山(1990)
	有孔虫類	Capriulo(1990)
	尾虫類	
	<i>Oikopleura</i>	Allredge(1981)
	サルパ類(<i>Doliolum</i>)	Uye and Shimazu(1997)
Omnivorous	幼生類(Polychaeta larva)	Uye and Shimazu(1997)
	放散虫類	Capriulo(1990)
	枝角類	Hart et al.(2000)
	カイアシ類	
	<i>Paracalanus</i>	Mauchline(1998)
	<i>Metridia</i>	Sell et al.(2001)
	<i>Acartia</i>	Uye and Shimazu(1997)
	<i>Oithona</i>	大塚 他(1999)
Carnivorous	<i>Microsetella</i>	大塚・西田(1997)
	幼生類(Zoea of Macrura)	Uye and Shimazu(1997)
	ヒドロ虫類	大森・池田(1976)
	カイアシ類	
	Candaciidae(<i>Candacia</i>)	Mauchline(1998)
	<i>Oncaea</i>	Go et al.(1998)

いては各個体群の炭素重量と水温から計算される生産速度(mg C/ind/d; Ikeda and Motoda 1978)から日間生産速度を算出した。また微小動物プランクトンと同様に、それらの生産速度を総成長効率(0.3; Ikeda and Motoda 1978)で除して日間餌要求速度(mg C/m³/d)を算出した。

さらに中型動物プランクトン群集は、既報の文献に従って食性を中型動物プランクトン食性(肉食性: Carnivorous)、微小動物・植物プランクトン食性(雑食性: Omnivorous)、植物プランクトン食性(植食性: Herbivorous)の3つに分類し(表3)、食性毎に生産速度や餌要求速度を算出した。なお、文献から食性を確認できなかった種については、雑食性として扱った。

結果と考察

1. 出現量

1-1. 植物プランクトン

植物プランクトンの分析結果(出現細胞数)を表4に示す。出現した植物プランクトンは、珪藻類30種類、渦鞭毛藻類4種類、黄色鞭毛藻類2種類、クリ

プト藻類、プラシノ藻類、ユーグレナ藻類、微細鞭毛藻類が各1種類の計40種類であった。

出現細胞数は、St.1で151×10³細胞/l、St.2で248×10³細胞/lであり、どちらの測点でも珪藻類が優占し、全出現細胞数の96~99%を占めた。優占した種類は、St.1、St.2ともに珪藻類の*Chaetoceros debile*であり47~68%を占めた。次いで珪藻類の*Leptocylindrus danicus*が7~11%を占めた。

1-2. 微小・中型動物プランクトン

出現した微小動物プランクトンは、織毛虫類が5種類、カイアシ類、幼生類が各1種類の計7種類であった(表5)。微小動物プランクトンの出現個体数は、St.1で310×10³個体/m³、St.2で262×10³個体/m³であり、いずれの測点においてもロリカ(殻)を有する有鐘織毛虫類(*Tintinnidium*、*Tintinnopsis*、*Stenosemella*)が優占し、全出現個体数の57~76%を占めた。次いで、無殻織毛虫類(*Oligotrichina*)が23~39%を占めた。

また、微小動物プランクトンの炭素重量に換算して求めた生物量を図2に示す。生物量はSt.1、2で

表4 植物プランクトン分析結果

番号	種名	測点	St.1	St.2
1	珪藻類	<i>Skeletonema costatum</i>	1933	2000
2		<i>Leptocylindrus danicus</i>	16621	18398
3		<i>Detonura pumila</i>	4977	6933
4		<i>Lauderia annulata</i>	311	233
5		<i>Thalassiosira</i> spp.	4177	3866
6		Thalassiosiraceae	3911	2533
7		<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1244	311
8		<i>Rhizosolenia setigera</i>	533	233
9		<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	122	111
10		<i>Bacteriastrum</i> sp.	33	78
11		<i>Chaetoceros affine</i>	22	33
12		<i>Chaetoceros danicum</i>	200	78
13		<i>Chaetoceros debile</i>	71637	168516
14		<i>Chaetoceros decipiens</i>		67
15		<i>Chaetoceros didymum</i>	1267	300
16		<i>Chaetoceros lorenzianum</i>	44	
17		<i>Chaetoceros sociale</i>	89	311
18		<i>Chaetoceros</i> spp.	24531	23998
19		<i>Cerataulina dentata</i>		22
20		<i>Hemiaulus hauckii</i>	11	
21		<i>Ditylum brightwellii</i>	11	
22		<i>Eucampia zoodiacus</i>	5599	5333
23		<i>Fragilaria oceanica</i>	133	
24		<i>Asteriorella japonica</i>		67
25		<i>Navicula membranacea</i>	122	
26		<i>Navicula</i> sp.	133	22
27		<i>Pleurosigma</i> sp.		22
28		<i>Nitzschia pungens</i>	4266	7733
29		<i>Nitzschia</i> sp.		800
30		<i>Cylindrotheca closterium</i>	2666	2533
31	黄色鞭毛藻類	<i>Dictyocha fibula</i>		11
32		<i>Distephanus speculum</i>	11	11
33	渦鞭毛藻類	<i>Prorocentrum minimum</i>	11	11
34		Gymnodiniales	33	22
35		<i>Peridinium quecorne</i>	11	
36		Peridinales	467	67
37	クリプト藻類	Cryptophyceae	44	44
38	プラシノ藻類	Prasinophyceae	22	11
39	ユーグレナ藻類	Euglenophyceae	133	44
40	微細鞭毛藻類	Micro flagellata	5511	2800
		細胞数合計 (cells/l)	150840	247553
		種類数合計	34	34

単位: cells/l

それぞれ 1.28、1.47mg C/m³ であり、出現個体数と同様に有鐘繊毛虫類と無殻繊毛虫類が優占した。St. 1 ではこれら二つの分類群で全生物量の 95% を占めていたが、St. 2 では 72% であり、次いで二枚貝の殻長期幼生 (Umbo larva) が 28% を占めた。

出現した中型動物プランクトンは、カイアシ類が 15 種類、枝角類が 4 種類、繊毛虫類、幼生類が各 3 種類、放散虫類、ヒドロ虫類が各 2 種類、有孔虫類、尾虫類、サルパ類が各 1 種類の計 32 種類であった (表 6)。中型動物プランクトンの出現個体数は、

表5 微小動物プランクトン分析結果

番号	種名	測点	St.1	St.2
1	繊毛虫類 Oligotrichina		122	61
2	<i>Tintinnidium mucicola</i>		44	3
3	<i>Tintinnopsis beroidea</i>		100	172
4	<i>Tintinnopsis lohmanni</i>		33	17
5	<i>Stenosemella nivalis</i>			6
6	カイアシ類 Nauplius of Copepoda		11	
7	幼生類 Umbo larva of Pelecypoda			3
個体数合計 (inds./l)			310	262
種類数合計			5	6

単位: inds./l

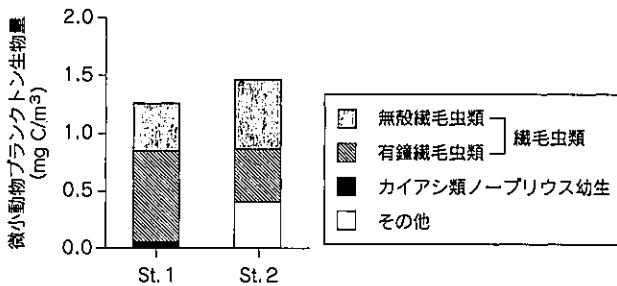


図2 微小動物プランクトンの生物量

St. 1で 16×10^3 個体/ m^3 、St. 2で 6×10^3 個体/ m^3 であり、いずれの測点においてもカイアシ類が優占し、全出現個体数の 88 ~ 91% を占めた。生物量は St. 1、2 でそれぞれ 2.59、1.50 mg C/ m^3 であり(図3)、出現個体数と同様にカイアシ類が優占して 77 ~ 99% を占めた。St. 2 ではカイアシ類に次いで枝角類が 18% を占めた。

2. 植物プランクトンの生産速度と微小動物プランクトンの摂餌速度

希釈培養法の結果を図4に示す。実験1、2とも 20 ~ 200 μm のサイズ区分(微小植物プランクトン)において回帰直線の傾きは得られず、特に St. 2 の実験では試料の希釈率に関わらず植物プランクトンの見かけ上の生産速度は一定であった。GF/F ~ 20 μm のサイズ区分(ナノサイズ以下の植物プランクトン)では、実験2で希釈率 0.25 の時に生産速度が大きく低下していたのを除けば、両実験とも希釈率を高く

するほど植物プランクトンの見かけ上の生産速度が小さくなる結果となった。

実験結果より見積もった植物プランクトンの生産速度は、サイズ区分で比較すると GF/F ~ 20 μm の方が 20 ~ 200 μm よりも高く、実験1でそれぞれ 0.66、0.29 d^{-1} 、実験2でそれぞれ 0.49、0.41 d^{-1} となった。また測点で見れば、いずれのサイズ区分においても St. 1 (実験1)の方が St. 2 (実験2)よりも高かった。一方、微小動物プランクトンの摂餌は GF/F ~ 20 μm のサイズ区分においてのみ確認され、その摂餌速度は St. 1、2 でそれぞれ 0.40、0.11 d^{-1} であった。

3. 炭素収支

本調査海域の有光層内において各プランクトン分類群間を流れる炭素収支の見積もりを図5に示す。

植物プランクトンの各サイズ区分(GF/F ~ 20 μm 、20 ~ 200 μm)の生産速度は、それぞれ St. 1 では 4.8、1.9 mg C/ m^3 /d、St. 2 では 1.9、0.9 mg C/ m^3 /d であった。希釈培養法で得られた結果より、微小動物プランクトンの植物プランクトンに与える摂餌圧を見積もったところ、微小動物プランクトンの GF/F ~ 20 μm のサイズ区分に対する摂餌速度は St. 1、2 でそれぞれ 3.3、0.51 mg C/ m^3 /d であった。なお、希釈培養法の結果より、微小動物プランクトンの生産は、両測点とも GF/F ~ 20 μm のサイズ区分の植物プランクトンによってのみ支えられていると仮定し

表6 中型動物プランクトン分析結果

番号	種名	測点	St.1	St.2
1	繊毛虫類 <i>Favella ehrenbergii</i>		484	
2	<i>Tintinnopsis beroidea</i>		2581	
3	<i>Tintinnopsis</i> spp.		645	
4	有孔虫類 Foraminifera		161	
5	放散虫類 <i>Challengeria xiphodon</i>			59
6	Radiolaria		54	
7	ヒドロ虫類 <i>Obelia</i> sp.		54	
8	Hydroida			29
9	枝角類 <i>Podon</i> sp.			78
10	<i>Evadne nordmanni</i>			147
11	<i>Evadne tergestina</i>			118
12	<i>Penilia avirostris</i>			29
13	カイアシ類 <i>Acartia omorii</i>		54	
14	<i>Oithona fallax</i>			59
15	<i>Oithona plumifera</i>			78
16	<i>Oithona similis</i>			78
17	<i>Oithona</i> sp.			78
18	<i>Oncaea media</i>			78
19	<i>Microsetella norvegica</i>			29
20	Copepodite of <i>Acartia</i>		968	157
21	Copepodite of <i>Candacia</i>			78
22	Copepodite of Harpacticoida			78
23	Copepodite of <i>Metridia</i>		161	
24	Copepodite of <i>Oithona</i>			1255
25	Copepodite of <i>Oncaea</i>			235
26	Copepodite of <i>Paracalanus</i>		1129	706
27	Nauplius of Copepoda		8871	1961
28	尾虫類 <i>Oikopleura</i> spp.		484	78
29	サルパ類 <i>Doliolum</i> sp.			29
30	幼生類 Polychaeta larva			59
31	Zoea of <i>Macrura</i>		54	
32	Fish egg		54	29
個体数合計 (inds./m ³)			15754	5525
種類数合計			14	23

単位: inds./m³

た。これらの値はそれぞれ、同サイズ区分の植物プランクトンの一日当たりの生産速度の69、27%に相当した。また、St.1では微小動物プランクトンの摂餌速度はその餌要求速度を十分に満たしていたが、St.2では餌要求速度の22%に過ぎなかった。本調査では、微生物食物連鎖を構成するバクテリアや従属栄養性ナノプランクトン分類群等は調査していなかったが、St.2における微小動物プランクトンの餌要求の不足分は、植物プランクトン以外のこれらの生物群によって支えられているのかもしれない。い

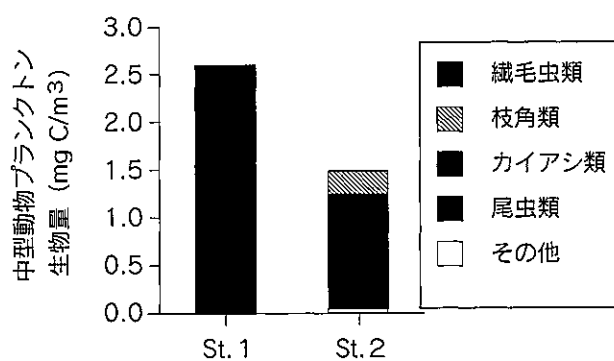


図3 中型動物プランクトンの生物量

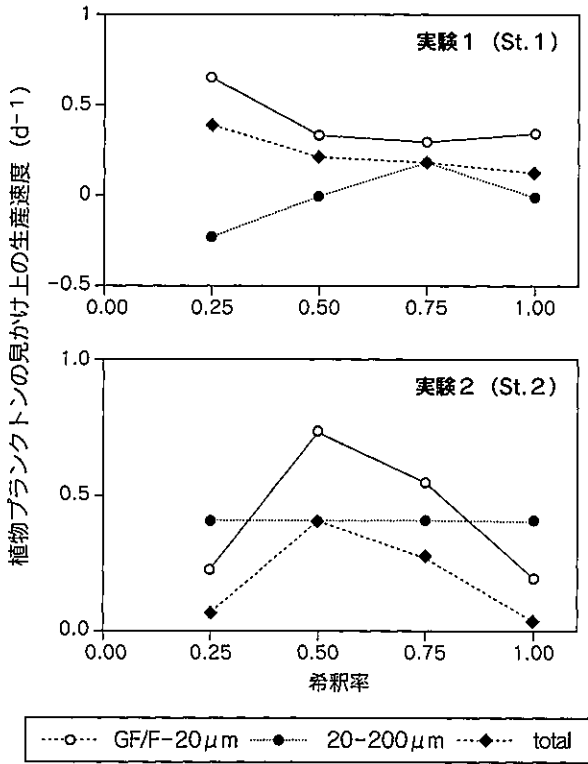


図4 希釈培養法実験結果

ずれにせよ、両測点において微小動物プランクトンは高い生産活性に由来する高い餌要求速度を示し、捕食者としての大きな役割を果たしていることが示唆された。

St. 1 では、肉食性の中型動物プランクトンは出現しなかったが、その点を除けば、植物プランクトンのサイズ組成(サイズ分画比)および各プランクトン分類群の生物量の比は両測点間で類似していた。ここで、雑食性の中型動物プランクトンが、微小動物プランクトンと植物プランクトンをそれぞれ1対1の割合で摂餌すると仮定すると、微小動物プランクトンに対する摂餌圧は St. 1 では 0.99 mg C/m³/d の、St. 2 では 0.41 mg C/m³/d と見積もられた。これらは微小動物プランクトンの生産速度のそれぞれ、93、45%に相当し、微小動物プランクトンの生産が効率よく上位の栄養段階へ伝わっている可能性を示した。一方、雑食性および植食性の中型動物物

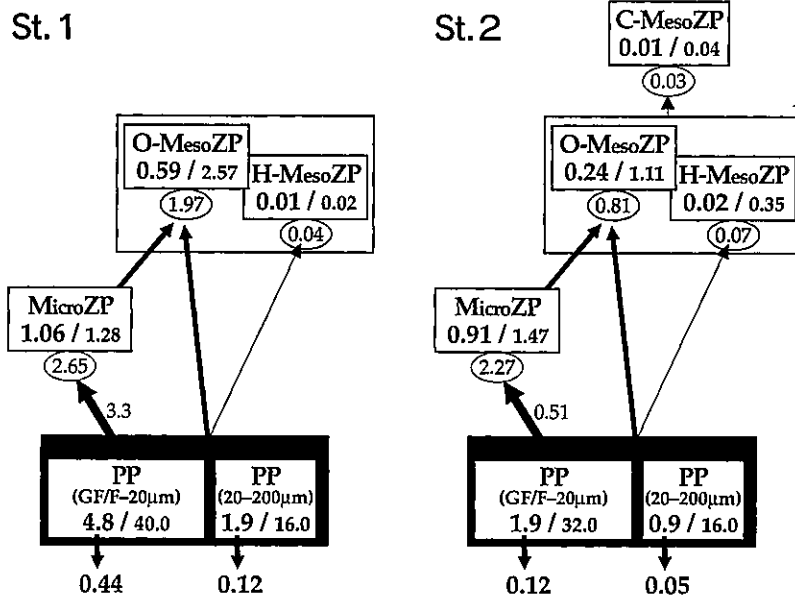


図5 有光層内における各プランクトン分類群間の炭素の流れの概略図

Box内の数値：生産速度(mg C/m³/d) / 生物量 (mg C/m³)、Box 下部の円内の数値：最小餌要求速度 (mg C/m³/d)、矢印横の数値：希釈培養法により求めた摂餌速度(mg C/m³/d)

下向きの矢印と数値：沈降によって有光層から除去される植物プランクトン生産速度(mg C/d)

H-MesoZP、O-MesoZP、C-MesoZP：それぞれ植食性、雑食性、肉食性の中型動物プランクトン、MicroZP：微小動物プランクトン、PP：植物プランクトン

矢印の太さは、各分類群間の結合の相対的な強さを示す

ランクトンの植物プランクトンに対する摂餌速度の和は、St. 1、2で1.03、0.45 mg C/m³/dとなり、全サイズの植物プランクトンの生産速度のそれぞれ15、16%に相当した。St. 2では肉食性の中型動物プランクトンが確認されたが、その餌要求速度は、植食性および雑食性の中型動物プランクトンの生産速度の和のわずか4%に相当した。中型動物プランクトンのいずれの食性群も、その餌要求速度を満たすだけの餌の生産速度が確認された。

沈降によって有光層から除去される植物プランクトンの生産は、St. 1で0.56 mg C/m³/d、St. 2で0.17 mg C/m³/dであり、それは植物プランクトン生産のそれぞれ8、6%に相当した。

全体を通して、植物プランクトン生産から植食性および雑食性中型動物プランクトン、さらに肉食性中型動物プランクトンへの炭素の流れは細く、これらの各栄養段階の間の結合が弱いことが推察された。一方、ナノサイズ以下の植物プランクトンの生産は微小動物プランクトンによって効率よく利用されていることが明らかとなり、またその生産速度の大部分は中型動物プランクトンに伝わっている可能性が示唆された。これらのことより、本海域の春季のプランクトン食物連鎖構造は、微小動物プランクトンが捕食者として、また餌生物として大きな役割を果たしていることで特徴づけられていると考えられる。

参考文献

- Allredge, A. L. 1981 The impact of appendicularian grazing on natural food concentrations in situ. *Limnol. Oceanogr.*, 26: 247-257.
- Aruga, Y. and M. Monsi 1962 Primary production in the northwestern part of the Pacific off Honshu, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 18: 85-94.
- Andersen, T., Schartau A.K.L. and Paasche E. 1991 Quantifying external and internal nitrogen and phosphorus pools, as well as nitrogen and phosphorus supplied through remineralization, in coastal marine phytoplankton by means of a dilution technique. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 69: 67-80.
- Capriulo, G. M. 1990 Feeding-related ecology of marine protozoa. In, *Ecology of Marine Protozoa*, Capriulo, G. M. (ed.), Oxford University Press, New York, pp. 186-259.
- Fenchel, T. 1987 *Ecology of Protozoa, The Biology of Free-living Phagotrophic Protists*. Springer-Verlag, Berlin, 197pp.
- Go, Y. B., B. C. Oh and M. Terazaki 1998 Feeding behavior of the Poecilostomatoid copepods *Oncaea* sp. on chaetognaths. *J. Marine Syst.*, 15: 475-482.
- Hart, D.R., L. Stone and T. Berman 2000 Seasonal dynamics of the Lake Kinneret food web: The importance of the microbial loop. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 350-361.
- 弘田禮一郎 1986 動物プランクトン. 日本海洋学会(編), 沿岸環境調査マニュアル, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 177-191.
- Ikeda, T. and S. Motoda 1978 Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fish. Bull.*, 76: 357-366.
- 神山孝史 1990 有鐘織毛虫類の個体群動態にかかわる餌料とシスト. 月刊海洋, 22(2): 73-80.
- Landry, M. R. and R. P. Hassett 1982 Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Mar. Biol.*, 67: 283-288.
- Larson, R. J. 1986 Water content, organic content, and carbon and nitrogen composition of medusae from the northeast pacific. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 99: 107-120.
- Mauchline, J. 1998 *The Biology of Calanoid Copepods*, Vol. 33 of *Advances in Marine Biology series*, Academic Press, New York, 710 pp.
- Müller, H. and W. Geller 1993 Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa, the dependence on body size and temperature reconsidered. *Arch. Hydrobiol.*, 126: 315-327.

- Mullin, M. M. 1969 Production of zooplankton in the ocean: the present status and problems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 7: 293-314.
- 大塚攻、西田 周平 1997 海産浮遊性カイアシ類(甲殻綱)の食性再考. *海の研究*, 6(5): 299-320.
- 大塚攻、大谷 修司、清家 泰、國井 秀伸、西田 周平 1999 中海における動物プランクトン、特にカイアシ類の食性について. *LAGUNA(汽水域研究)*, 6: 89-105.
- 大森信、池田勉 1976 動物プランクトン生態研究法. 共立出版株式会社, 東京, 229 pp.
- Poole, H. H. and W. R. G. Atkins 1929 Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 16: 297-324.
- Putt, M. and D. K. Stoecker 1989 An experimentally determined carbon, volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 1097-1103.
- Sell, A. F., D. van Keuren and L. P. Madin 2001 Predation by omnivorous copepods on early developmental stages of *Calanus finmarchicus* and *Pseudocalanus* spp.. *Limnol. Oceanogr.*, 46: 953-959.
- 品田晃良、伴修平、池田勉、津田敦、齊藤 宏明 2000 親潮域における低次食物連鎖構造の季節変化. *日本プランクトン学会報*, 47: 119-124.
- Strathmann, R. R. 1967 Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 411-418.
- Sieburth, J., V. Smetacek and J. Lenz 1978 Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, 23: 1256-1263.
- Uye, S. 1980 Development of neritic copepods *Acartia clausi* and *A. steueri*. II. Isochronal larval development at various temperatures. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 27: 11-18.
- Uye, S. 1982 Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38: 149-158.
- Uye, S. 1991 Temperature-dependent development and growth of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory. *Bull. Plankton Soc. Japan, Spec. Vol.*: 627-636.
- Uye, S. and S. Ichino 1995 Seasonal variations in abundance, size composition, biomass and production rate of *Oikopleura dioica* (Fol) (Tunicata, Appendicularia) in a temperate eutrophic inlet. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 189: 1-11.
- Uye, S., N. Nagano and H. Tamaki 1996 Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, 52: 689-703.
- Uye, S. and T. Shimazu 1997 Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of meso- and macrozooplankton in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, 53: 529-538.
- Uye, S. and K. Sano 1998 Seasonal variations in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 163: 37-44.
- Uye, S., I. Aoto and T. Onbé 2002 Seasonal population dynamics and production of *Microsetella norvegica*, a widely distributed but little-studied marine planktonic harpacticoid copepod. *J. Plankton Res.*, 24: 143-153.
- Verity, P. G. and C. Langdon 1984 Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen, and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *J. Plankton Res.*, 6: 859-868.
- Wassmann, P. 1990 Relationship between primary and export production in the boreal coastal zone of the North Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 148: 169-186.