

粗放的動物プランクトン培養技術に関する研究

施肥量，炭水化物添加量について

熊 丸 敦 郎

1 はじめに

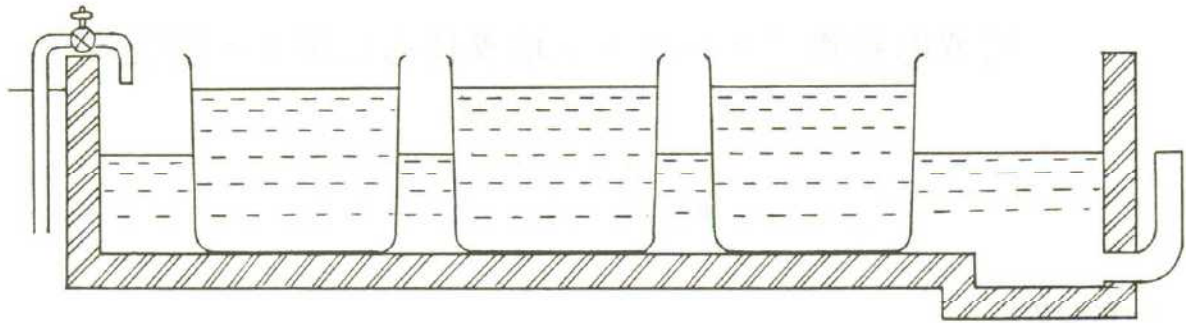
我国では古くから、コイ、キンギョ等温水性魚類の稚魚生産における初期餌料用として粗放的動物プランクトン培養が行われている。この方法は5月の産卵ふ化時期に合わせて前もって露地池に、醬油粕、鶏糞その他の安価な有機栄養物を投入し、池底に存在するMoina、Daphnia等のBranchiopodaを休眠卵からふ化増殖させるというもので、ローコストかつ簡便で失敗することも少ないようである。それだけに技術としては多分に経験的であり有機栄養物から動物プランクトン増殖に至る仕組みについては不明な点が多い。一方、霞ヶ浦における網生簀養殖はコイが過剰生産の傾向にあり養殖魚種の一部転換・多様化が求められている。今後増えるであろう養殖魚種の各々について初期餌料生産技術が必要になるとと思われる。例えば、ふ化仔魚の口の大きさによっては初期餌料としてより小さなワムシ類の培養が、また魚種によってはふ化時期が異なり、低水温期あるいは高水温期の動物プランクトン培養等、これまでと違った培養技術が必要になってくるのであろう。

こうしたことから、改めて現在行なわれている粗放的な動物プランクトン培養の仕組みについて見直し、さらにこれに人為的な手を加えるとすればどんな方法があるか検討する必要がある。

動物プランクトンが何を餌料としているかについては、すでに特定の大きさの植物プランクトン、バクテリア、およびデトライタスであることが知られている。また従属栄養細菌はエネルギー源として炭水化物を利用し、施肥池に炭水化物を添加することによってバクテリアの増殖が促進されることは予想に難くない。施肥池において植物プランクトン優占とした場合とバクテリア優占とした場合とで動物プランクトンの種類および増殖量にどのような差が生ずるかを調べることは、施肥池を人為的にコントロールする上で有意義なことと思われる。ここでは単位面積当りの施肥量と動物プランクトン増殖量の関係および施肥に加えて炭水化物を添加した場合における増殖動物プランクトンの種類の変化等について試験を行なった。

2 試験方法

施肥培養を行なう水槽としてFRP製 500 ℓ 円形タンク（底面積 $\approx 0.78 \text{ m}^2$ ）を使用し、試験区の数に応じて野外池（ $4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$ ）内にこれを設置した。野外池には一般に使用されている施肥池以上の急激な水温変化を避けるために水深 0.4 m まで貯水しておいた。（第1図）



第1図 施肥実験水槽

各タンクには、あらかじめ毎年動物プランクトンを施肥培養している養成池の乾燥底土を40kgづつ入れ、さらに湖水で450ℓに満たし止水とした。

(1) 施肥量と動物プランクトン増殖量の関係について

3コのタンクに乾燥鶏糞を各々200g、500g、1,000gを投入し3段階の施肥量試験区とした。

調査は鶏糞投入後から2ヶ月間、7日毎に次の項目について行なった。

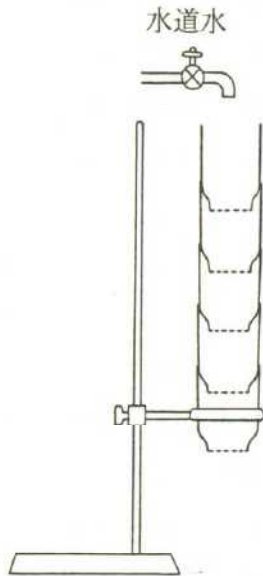
測定項目 — 水温、D.O. (D.O.メーター)、pH (pHメーター)、S.S. (Whatman GFC 47mmを用いて試水100～200mlを濾過後凍結乾燥)、Ch.a (GFC 47mmで100～200ml濾過後アセトン抽出、吸光度測定)、溶存無機態N、P [DIN, DIP] : GFC濾過水についてNH₄-N (ネスラー法)、NO₂-N・NO₃-N (グリースロミン法)、PO₄-P (モリブデンアンモン法)により比色分析、植物プランクトンについてはCh.aにより定量的に、試水0.05mlを検鏡し種類同定・計数して定性的検査とした。動物プランクトンについてはNXX 13ネットを試水15ℓを濾過し、ホルマリン固定後、一部を実体顕微鏡により種類同定・計数を行ない、さらにNXX 13ネットを用いて地下水で植物プランクトンをできるだけ洗い流した後60℃24hr乾燥し重量を測定した。

(2) 炭水化物の添加による動物プランクトンの種類および量の変化について

4コのタンクに乾燥鶏糞を250gづつ入れ、さらに炭水化物としてデンプン(可溶性)をI区; 0g、II区; 50g、III区; 100g、IV区; 200g添加し4段階試験区とした。調査は原則として週2回、次の項目について実施した。

調査項目 — 水温、D.O.、pH、S.S.、DIN、DIP、溶存有機炭素: DOC (GFC濾液100mlをロータリーエバポレーターで乾燥後、重クロム酸カリにより酸素消費量として求め、0.25%Glucose液により検量)、S.S.中のC、N (試水100～200mlを濾過したGFCをC-Nコーダーにより定量)、全菌数は細菌計数板を用い試水 2×10^{-5} ml中の細菌数を1,000倍油浸により直接検鏡計数、植物プランクトンについてはCh.aにより定量的に、試水0.05ml検鏡により種類・計数し定性的検査を行なった。動物プランクトンについては試水15ℓをNXX 25ネット

で濾過しホルマリン固定後、この一部について実体顕微鏡により種類同定・計数し、第1表に示す5種類の目合ネット地により大きさ別に濾過し各々乾燥重量を測定した。(第2図, 第1表)



第2図 プランクトン濾別装置

第1表 動物プランクトン濾別に使用したネット地

No.	ネット地	径(μ)	ネットに留まるプランクトン	
			大きさ(μ)	種類
I	NXX 25	40	40 ~ 120	Keratella, Polyarthra Brachionus(小), Filinia
II	XX 13	120	120 ~ 230	Brachionus (大)
III	NGG 68	230	230 ~ 435	Nauplius of Copepoda
IV	NGG 42	435	435 ~ 1000	Copepoda
V	サランネット	\div 1000	$1000 \leq$	Branchiopoda

3 試験結果および考察

(1) 施肥量と増殖動物プランクトン量の関係について

各調査項目について3月2日~5月1日の2ヶ月間における調査結果を第2-(a)・(b)表、第3図に示した。これにより経時的变化を見ると、水温は8℃~20℃に徐々に上昇し、無機成分：DIN, DIPはいづれの試験区においてもNH₄-NおよびPO₄-Pは増加傾向、NO₂はほとんど検出されず、NO₃は施肥1週間後にピークとなり以後減少傾向となっている。すなわち、NH₄-N, PO₄-Pは過剰、NO₃-Nは不足となるようである。NH₄-NからNO₃-Nへの移行は一般に高酸素条件下では比較的速やかであり、今回のこうした傾向の一つの要因として酸素不足が考えられる。植物プランクトンの増殖過程をクロロフィルの増減で見ると植物プランクトンはN源として主にNO₃-Nを利用し、この増殖に伴ないNO₃-Nが消費されつくして不足となる。おそらくこのことが植物プランクトン減少(水がわり)の主な原因になっているものと思われる。さらにD.O.はクロロフィル量と平行になっておりクロロフィル増加のピーク時に酸素過飽和の状態となるがこれを過ぎるとクロロフィル減少に伴ってD.O.も低下し、このことがNH₄-NからNO₃-Nへの移行を阻害することになり、N源を断たれることによって植物プランクトンは再度増殖することが出来ない状態へとつながっていくものと思われる。これらの事から施肥池においてエアレーションを行えば、酸素過飽和の状態が無く

第 2 - (a) 表 施肥実験における水質調査結果 - (1) 施肥量と動物プランクトン増殖量

調査項目	Date	3/2	3/7	3/15	3/22	3/29	4/3	4/9	4/16	4/23	5/1
	st										
W. T. (°C)	I	7.6	9.1	10.3	14.0	8.2	13.5	9.5	15.2	16.2	20.4
	II	7.6	8.5	10.2	12.3	8.8	15.9	9.3	14.0	16.3	20.5
	III	7.6	8.2	10.0	11.8	9.0	15.9	8.8	13.8	15.2	21.5
D. O. (ppm)	I	12.6	11.9	16.5	16.6	8.8	2.9	10.6	6.9	13.3	3.8
	II	12.6	12.9	15.5	20 ≤ (25.5)	11.8	14.9	5.9	3.2	8.6	2.3
	III	12.6	12.8	16.9	20 ≤ (23.2)	20 ≤ (26.1)	15.2	13.8	5.7	8.6	3.8
pH (ppm)	I	8.7	7.2	8.9	9.3	7.5	7.5	8.0	7.9	9.1	8.0
	II	8.7	7.0	8.8	10.6	9.6	9.6	8.2	7.8	8.2	7.5
	III	8.7	6.8	7.8	10.4	10.6	9.9	10.5	9.5	8.6	7.9
NH ₄ -N (ppm)	I	0.12	0.49	0.12	0.13	0.28	0.28	0.18	0.34	0.33	0.96
	II	0.12	0.50	0.37	0.15	0.26	0.26	0.30	0.40	0.96	1.80
	III	0.12	0.58	0.27	0.53	2.09	2.09	0.34	0.30	0.96	2.86
NO ₂ -N (ppm)	I	-	0.010	0.005	-	-	-	-	-	-	-
	II	-	0.013	0.007	-	-	-	-	-	-	-
	III	-	0.008	0.007	0.042	-	-	-	-	-	-
NO ₃ -N (ppm)	I	0.025	0.358	0.165	-	-	-	0.018	-	-	-
	II	0.025	0.355	0.273	-	-	-	0.021	-	-	-
	III	0.025	0.327	0.293	0.114	0.063	-	-	-	-	-
PO ₄ -P (ppm)	I	0.021	0.017	0.21	0.77	1.90	1.85	1.86	1.63	1.03	1.05
	II	0.021	0.013	0.40	0.47	2.02	2.24	3.20	4.71	4.47	5.56
	III	0.021	0.070	0.32	0.48	2.05	3.05	2.43	4.04	4.31	5.91
S. S. (ppm)	I	7.3	9.4	28.0	25.3	22.7	4.7	1.4	6.7	1.6	2.0
	II	7.3	8.4	18.7	43.0	31.2	32.0	6.0	8.6	3.5	5.0
	III	7.3	5.4	15.3	32.0	110.6	99.6	86.1	10.0	40.5	6.0
Ch. a (ppb)	I	42.3	43.4	190.9	150.5	83.1	10.2	7.9	39.5	2.3	2.2
	II	42.3	30.9	152.2	606.9	94.9	202.8	19.3	25.0	6.7	3.8
	III	42.3	37.8	117.8	353.7	1057.8	846.2	797.3	35.1	45.6	3.6
Zoo plankton dry wt. (mg/15ℓ)	I	0	0	1.8	15.6	33.1	64.5	31.7	35.2	9.1	26.3
	II	0	0	0.8	7.5	87.9	78.9	113.2	118.0	81.2	89.5
	III	0	0	0	0.3	4.1	78.2	58.5	180.7	267.9	207.1

D. O. () 内; ウィンクラー法による測定, -; 検出されず

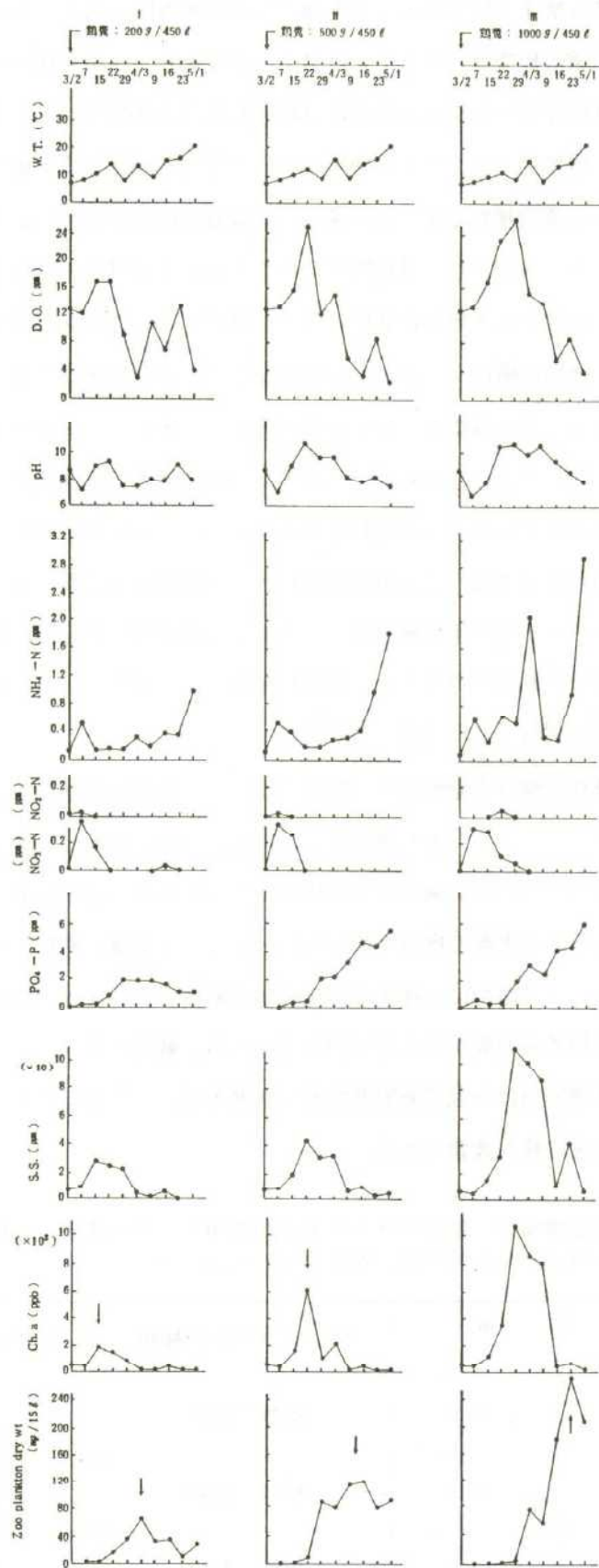
第2-(b)表 施肥後におけるプランクトンの種類と数-(1)施肥量と動物プランクトン増殖量

Plankton	Date			3 / 7			3 / 15			3 / 22			3 / 29		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Protozoa, Phytoplankton (cells / 0.05 ml)															
10 μ \geq protozoa		33		1,368	4,248	2,424	2,112	4,752	1,044	2,556	13,464	6,552	1,752	1,520	13,968
Euglena		8		23	19	28	300	420	36	672	300	84	504	168	756
Chlamydomonas							16	15	120	5	32	144	37	144	125
Oichomonas		4		16	5	17	5	2	6	312	204	132		204	
Gymnodinium		1		3	1	3	7	1	5	130	60	108	60	132	1,188
Nassula							5								
Tintinopsis					4										
Didinium					9	1	14			3	2	3	3	6	5
Anabaena					2										
Senedesmus						1									
Ankistrodesmus										20		8	32	9	
Closterium					2	1									
Synedra		9		6	8	10	9	3	1	11			16		
Cyclotella		2								4					
Zoo plankton ($\times 100 / \ell$)															
Brachionus (1)													r	2.0	3.3

第2-(b)表のつづき

Plankton	Date			4/3			4/9			4/16			4/23			5/1			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Protozoa, Phytoplankton (cells/0.05 ml)																			
10 μ \geq protozoa	43	161	3,528	66	300	13,464	312	38	372							2	6	4	
Euglena		1,128	924		108	1,932		78	136									3	
Chlamydomonas	1	67	144	1	3	108		1											
Oichomonas	1																		
Gymnodinium					60	456		4											
Paramecium	1	4	12		73			36	8										
Vorticera	2	1	39																
Didinium	1	6	19																
Senedesmus																			
Ankistrodesmus	5	16		8		23	128		4						2			1	
Closterium	4														1				
Synedra							1		7										
Cyclotella	5																		
Zoo plankton ($\times 100 / \ell$)																			
Brachionus (1)	4.9	47.0	5.6	0.4	62.0	2022.7	0.9	4.4	598						r	r	281.5		
Brachionus (2)			0.3			156.8		0.2	89						r	r	8.9	201.1	
Nauplius of Copepoda	3.1	0.3	0.2	9.3	1.7	13.9	10.1	2.1	46						4.7	5.6	10.7	0.4	
Cyclops	1.0	0.2	0.1	1.9	0.9	4.1	0.3	2.2	1.2						0.3	2.2	8.4	1.2	
Daphnia	0.1	0.1		1.1	0.8	0.7	2.5	0.6	0.3						r	2.8	1.4	6.6	

r : < 10 μ / ℓ



第3図 施肥後の各調査項目の経時的変化—(1)施肥量と動物プランクトン増殖量

なると同時に極端な酸素不足になることも無くなるため $\text{NH}_4\text{-N}$ から $\text{NO}_3\text{-N}$ への移行もスムーズに行なわれ急激な植物プランクトンの減少(水変わり)はより緩やかなものとなり、 NO_3 の供給がある限り植物プランクトンの生産は続くだろうと予想される。次に動物プランクトンについて見ると、植物プランクトンが増殖のピークになる頃から増え始め、植物プランクトンのピークから3~4週間遅れてピークに達し、以降減少傾向を示している。このことから植物プランクトンの減少(水がわり)は動物プランクトンによる摂餌の結果と見ることもできるが、植物プランクトンがほとんど無い状態になっても動物プランクトンが増加していることや、動物プランクトンの増殖は植物プランクトンが増加している間は起こらず、必ず植物プランクトンが増殖ピークとなってから始まっていること等から、植物プランクトンが動物プランクトンの直接的餌料となっているというよりはむしろ多くの場合枯死分解過程のものが摂餌(間接利用)されているものと考えられる。以上施肥池における1回の施肥から動物プランクトンに至る経過を今回の調査項目で見ると限りでは施肥栄養物からの無機栄養塩類の溶出 → 植物プランクトンの増殖 → $\text{NO}_3\text{-N}$ 不足による植物プランクトンの増殖停止および枯死(分解) → 動物プランクトンの増殖 → 動物プランクトンの餌料不足による減少といった各々が1つのピークを持った一連の遷移の過程として見る事ができる。

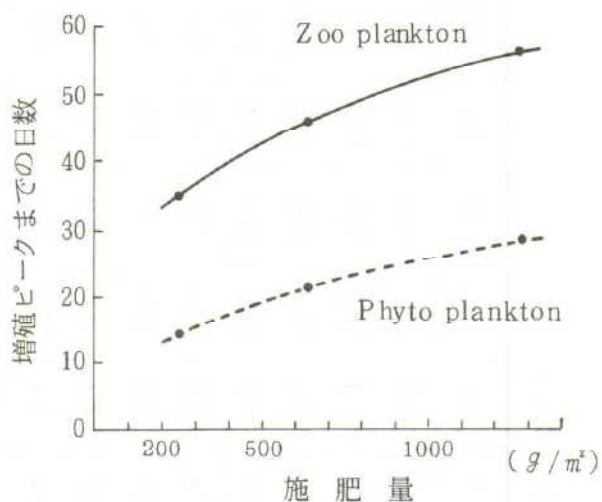
次にこれらの遷移の過程を施肥量との関係で見ると、施肥量を増加するにしたがって植物プランクトン、動物プランクトンとも増殖量は増加し、同時に増殖ピークになる時期が遅れてくることを示している。今回の実験例は3試験区と少ないがその結果を第3表および第4図に示した。こうしたことから実際の稚魚生産の場においてより多量の動物プランクトン増殖を期待して大量の施肥を行なう場合には稚魚のふ化時期と動物プランクトン増殖のピークを合わせるために施肥時期を早める必要があると思われる。なお、動物プランクトン増殖のピークに達する日数および最大増殖量は水温や施肥池底泥の状態等によって異なるものと思われるがこれらの点については今後の検討課題である。

第3表 施肥後植物・動物プランクトンが増殖ピークに達する日数(期間:
3月2日~5月1日, W.T.: 7.5~20℃)

試験区	施肥量		プランクトンの種類	増殖ピークに達する日数
	(g/450ℓ)	(g/m ²)		
I	200	256	植物/動物	14 / 35
II	500	641	植物/動物	21 / 42~49
III	1,000	1,282	植物/動物	28 / 56

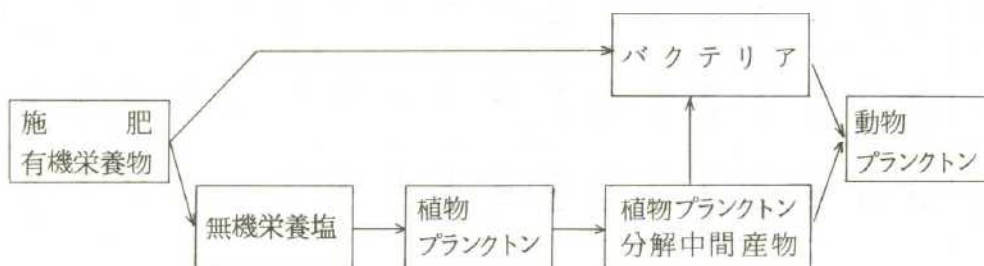
(2) 炭水化物の添加による動物プランクトンの種類および量の変化について

試験期間：4月3日から5月16日までの44日間の調査結果を第5-(a)~(c)表および第5図に示した。全試験区を通じての経時変化は $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の過剰、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の不足、植物プランクトン増殖のピークを過ぎてから動物プランクトンの増殖が始まること等については先の試験結果と同様である。前回の試験で調査しなかった全菌数について見ると、バクテリアは植物プランクトンよりやや遅れて増殖を示し、さらに遅れて動物プラン



第4図 乾燥鶏糞施肥量とプランクトンの増殖ピークに達する日数 (W.T.: 7.5 ~ 20 °C)

クトンの増殖が見られる。このことは先の試験結果でも述べたが動物プランクトンの増殖は植物プランクトンの増殖期には見られず、植物プランクトン増殖のピークを過ぎて始まることに関連しているものと思われる。即ち、動物プランクトンは活発に増殖している植物プランクトンを利用しにくい活性を失なってバクテリアにより分解され(同時にバクテリアは増殖し)、分解過程にある植物プランクトンおよびバクテリアは利用しやすく、これらを餌料として増殖することが考えられる。これらの過程を模式的に示すと次のようになる。



次に炭水化物(ここではデンプン)添加量とプランクトン増殖量その他の関係について見ると、DOCについては炭水化物添加量が多い程全体的にはやや高い値を示すものの、添加無添加にかかわらず経時的には過剰傾向となっている。ただし今回の調査ではDOCの中身について細かく分析していないので高分子から低分子のものへの移行あるいは有効利用される炭化水素等については不明であり今後検討しなくてはならない。炭水化物の添加量が増えるにしたがって明らかに増加の傾向を示したのはバクテリアであり、逆に植物プランクトンは増殖が抑

第 5 - (a) 表 施肥実験における水質調査結果 - (2) 炭水化物添加量と動物プランクトン

調査項目	Date	4/3	5	8	11	15	19	22	25	29	5/2	6	9	13	16	平均
W. T. (°C)	I	12.5	16.9	13.4	14.1	11.3	10.9	14.6	13.6	17.9	18.0	20.2	22.7	20.8	18.1	16.1
	II	12.5	17.2	13.3	13.8	11.0	11.4	14.7	13.5	19.7	18.0	20.4	18.2	20.9	18.4	15.9
	III	12.5	16.5	13.5	13.8	10.9	11.0	14.5	12.9	20.2	17.9	20.1	20.7	20.8	18.2	16.0
	IV	12.5	15.6	13.5	13.9	11.0	10.7	14.0	13.3	19.1	17.9	20.1	21.7	21.0	18.1	15.9
D. O. (ppm)	I	16.2	16.4	17.8	≥20	12.8	6.3	6.1	4.8	12.3	11.8	13.2	9.0	1.5	4.1	10.9
	II	16.6	17.5	13.5	19.9	11.1	1.4	2.1	1.8	7.3	4.5	13.1	9.8	3.5	3.0	8.9
	III	10.0	12.3	13.1	12.2	1.6	0.9	1.0	0.9	4.2	0.2	2.1	3.1	6.0	4.3	5.4
	IV	13.3	17.5	13.2	5.2	1.3	0.5	0.8	0.8	8.9	9.4	8.4	12.0	9.0	8.6	8.0
Trp. (cm)	I	≥55	49	33	34	24	24	23	26	22	22	25	45	≥55	≥55	≥35
	II	≥55	49	42	30	26	26	32	36	34	33	30	45	≥55	≥55	≥37
	III	≥55	52	40	36	25	31	32	34	40	41	57	50	40	≥55	≥42
	IV	≥55	45	40	27	22	23	29	27	29	30	32	35	42	≥55	≥35
DOC (ppm)	I	4.2	5.7	11.5	12.1	16.5	21.0	20.7	21.5	21.0	19.9	19.4	23.6	24.8	28.6	17.9
	II	6.1	5.9	10.4	16.8	15.7	16.9	21.7	22.9	23.0	22.0	26.9	24.0	28.2	31.7	19.4
	III	7.6	6.3	9.6	11.8	11.2	20.4	24.0	21.0	23.5	23.7	28.9	23.5	29.1	28.2	19.2
	IV	9.2	6.9	9.0	13.2	20.3	22.1	21.6	32.2	24.5	25.1	25.0	25.8	32.2	31.7	21.3
NH ₄ -N (ppm)	I	0.09	0.11	0.11	0.16	0.35	0.24	0.33	0.33	0.26	0.21	0.18	0.26	0.83	1.84	0.38
	II	0.08	0.11	0.48	0.20	0.30	0.23	0.35	0.37	1.08	0.45	0.24	0.33	1.09	1.69	0.50
	III	0.08	0.13	0.08	0.22	0.42	0.38	0.48	0.43	1.13	0.65	0.38	0.43	0.48	0.46	0.39
	IV	0.08	0.09	0.13	0.30	0.39	0.36	0.44	0.45	1.37	0.56	0.31	0.44	0.53	0.65	0.44

調査項目	Date st	4 / 3	5	8	11	15	19	22	25	29	5 / 2	6	9	13	16	平均
			I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₂ -N (ppm)	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		I	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03
NO ₃ -N (ppm)	II	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	-	-	0.02	-	-	-
	III	0.01	0.01	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
		I	0.08	0.27	0.49	0.41	0.46	1.18	2.60	5.57	3.81	5.11	4.70	7.32	8.33	9.07
PO ₄ -P (ppm)	II	-	0.22	0.48	0.45	0.43	1.20	2.71	5.23	6.55	6.50	6.13	7.11	7.67	8.22	3.78
	III	0.23	0.38	0.39	0.37	0.42	1.01	2.64	4.66	7.20	7.98	8.63	9.20	9.64	9.35	4.44
	IV	0.10	0.25	0.54	0.43	0.41	1.17	2.66	5.93	7.59	7.41	8.00	8.34	8.39	8.88	4.29
		I	16.4	13.6	23.0	39.0	64.7	60.0	64.7	56.0	86.7	61.3	76.7	21.3	10.5	7.6
S. S. (ppm)	II	11.6	10.8	20.5	46.5	72.0	54.0	40.0	33.3	35.3	34.0	48.7	20.7	5.5	1.6	31.0
	III	10.4	8.8	25.0	39.5	57.3	44.7	38.7	37.3	49.3	25.3	21.3	22.7	30.5	11.2	30.1
	IV	15.2	11.6	25.0	57.5	53.7	60.0	57.3	45.3	35.3	40.0	28.7	32.0	21.0	14.0	35.8
		I	62.3	79.3	310.3	441.0	392.9	322.5	274.3	203.0	233.5	237.8	251.4	56.9	7.8	8.1
Ch. a (ppb)	II	64.1	68.9	185.3	570.4	392.4	241.2	143.6	98.3	98.5	137.7	239.8	61.4	7.3	10.5	165.7
	III	21.0	35.4	163.5	199.1	125.0	41.8	99.3	83.1	98.2	65.1	67.7	41.4	122.6	51.9	87.2
	IV	45.5	64.1	204.7	282.9	161.5	145.4	134.3	87.7	82.5	102.8	160.9	140.4	132.3	131.6	134.0
	*	19.1	23.8	47.8	55.8	84.9	64.3	53.1	48.2	129.2	133.5	126.7	95.7	134.7	320.1	95.5

第5-(b)表

調査項目	Date st	4/3	5	8	11	15	19	22	25	29	5/2	6	9	13	16	平均
Bacteria ($\times 10^7$ コ/ml)	I	0.045	0.58	1.11	4.27	4.89	3.88	3.83	7.73	4.67	3.53	4.80	2.20	1.50	1.63	3.19
	II	0.065	0.81	1.14	3.81	6.67	1.80	4.57	4.07	4.03	2.73	5.73	4.87	1.03	0.60	3.00
	III	0.060	1.02	1.78	10.53	3.73	8.70	11.47	12.53	6.23	5.90	7.43	9.53	2.27	2.30	5.96
	IV	0.055	1.06	0.76	4.06	6.73	8.40	9.67	12.10	9.70	4.07	5.10	4.80	1.70	2.03	5.02
	V	0.63	1.70	1.97	3.03	4.50	12.7	12.03	23.37	14.77	15.6	14.4	36.0	17.1	13.7	12.3
Zoo plankton (dry wt mg/15 l)																
st I	40 μ ~ 120 μ			1.6	0.8	0.6	0	0.8	2.0	1.8	1.3	0.3	2.9	1.3	2.2	1.3
	120 ~ 230			2.6	1.3	1.4	1.1	3.7	6.3	11.3	9.8	6.5	5.9	4.8	6.7	5.0
	230 ~ 435			0.6	1.2	6.7	4.2	3.9	6.7	15.5	11.5	8.5	11.6	6.6	1.8	6.6
	435 ~ 1000			0.5	0.7	6.8	12.5	12.4	11.2	8.7	23.8	50.0	27.0	45.1	7.1	18.0
	1000 <			0	0	0	1.1	0.5	2.5	5.1	8.1	24.5	6.2	50.9	60.3	13.3
Total			3.3	4.0	25.5	18.9	21.3	28.7	42.4	54.5	89.8	53.6	108.7	78.1	44.2	
st II	40 ~ 120			1.0	1.1	0.8	0.7	3.9	2.7	1.3	2.4	2.5	3.0	0.9	2.5	1.9
	120 ~ 230			0.3	0.2	0.9	0.8	2.3	7.4	1.0	2.3	9.3	3.6	5.8	1.0	2.9
	230 ~ 435			0.8	1.2	5.1	3.8	5.8	2.9	7.0	5.3	10.9	11.0	3.8	1.1	4.9
	435 ~ 1000			0.4	0.8	15.4	14.4	14.8	4.2	10.4	15.1	29.7	15.0	24.9	12.4	13.1
	1000 <			0	0	0	0	0.3	1.1	1.5	3.1	9.6	5.7	120.9	35.7	14.8
Total			2.5	3.3	22.2	19.7	27.1	18.3	21.2	28.2	62.0	33.3	156.3	52.7	37.6	

調査項目	Date st	4/3	5	8	11	15	19	22	25	29	5/2	6	9	13	15	平均
st III	40 ^μ ~ 120 ^μ			1.6	1.3	0.6	0	2.7	2.2	3.7	3.9	2.9	1.8	5.1	6.8	2.7
	120 ~ 230			0.6	1.1	0	0.2	0.8	0.9	5.1	25.1	1.3	4.0	3.0	13.9	4.7
	230 ~ 435			0.8	5.0	1.1	0.2	1.2	0.5	2.2	2.8	0.8	1.8	0.7	4.0	1.8
	435 ~ 100			3.6	14.8	7.6	2.1	2.3	0.3	0.7	3.4	2.6	2.1	0.5	0	3.3
	1000 <			0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.2	0.2	0.8	0.3
Total				6.6	22.2	9.3	2.5	7.0	3.9	11.7	35.2	8.6	10.9	9.5	25.5	12.8
st IV	40 ~ 120			1.7	1.7	0.5	0.4	2.0	1.6	1.5	2.9	5.8	9.4	12.8	14.9	4.6
	120 ~ 230			0.6	0.9	0	0.1	0	0.1	1.1	1.8	24.1	36.3	23.3	2.4	7.6
	230 ~ 435			1.0	5.1	0.6	0.6	1.0	0	1.1	1.8	1.5	4.8	9.9	4.7	2.7
	435 ~ 1000			1.1	17.8	4.2	5.2	3.3	3.7	1.4	0.8	4.0	6.3	13.7	12.9	6.2
	1000 <			0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.2	0.3	0.9	0.3
Total				4.4	25.5	5.3	6.3	6.3	5.4	5.1	7.3	36.2	58.0	60.0	35.1	21.4
st V*	Total			3.3	13.7	27.2	2.7	5.3	4.7	0.9	3.0	10.6	14.6	0.8	1.8	7.4

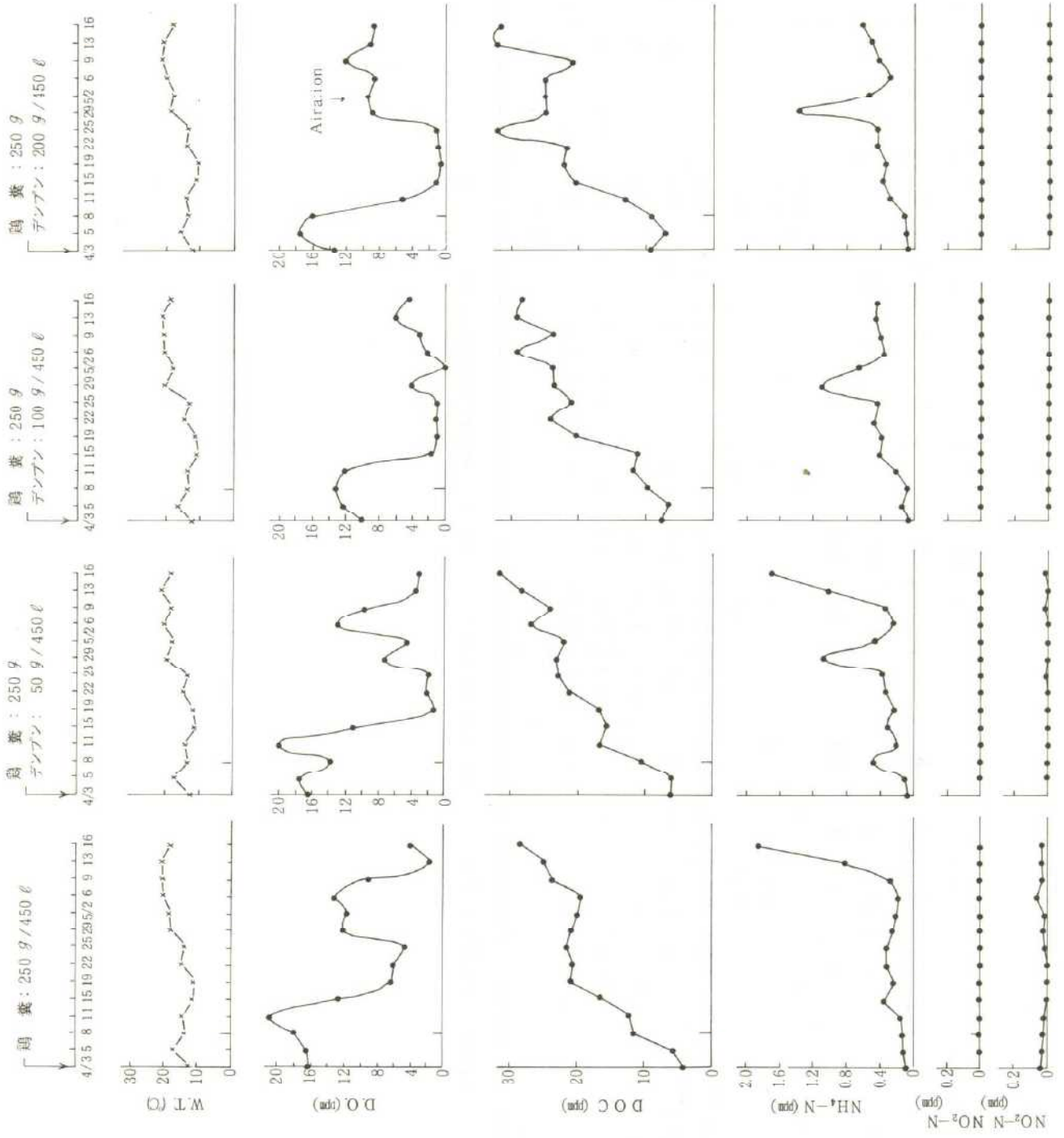
* st V (Ch. a, Bacteria, Zoo plankton) ; デンプン添加量 300 g / 450 ℓ 試験区

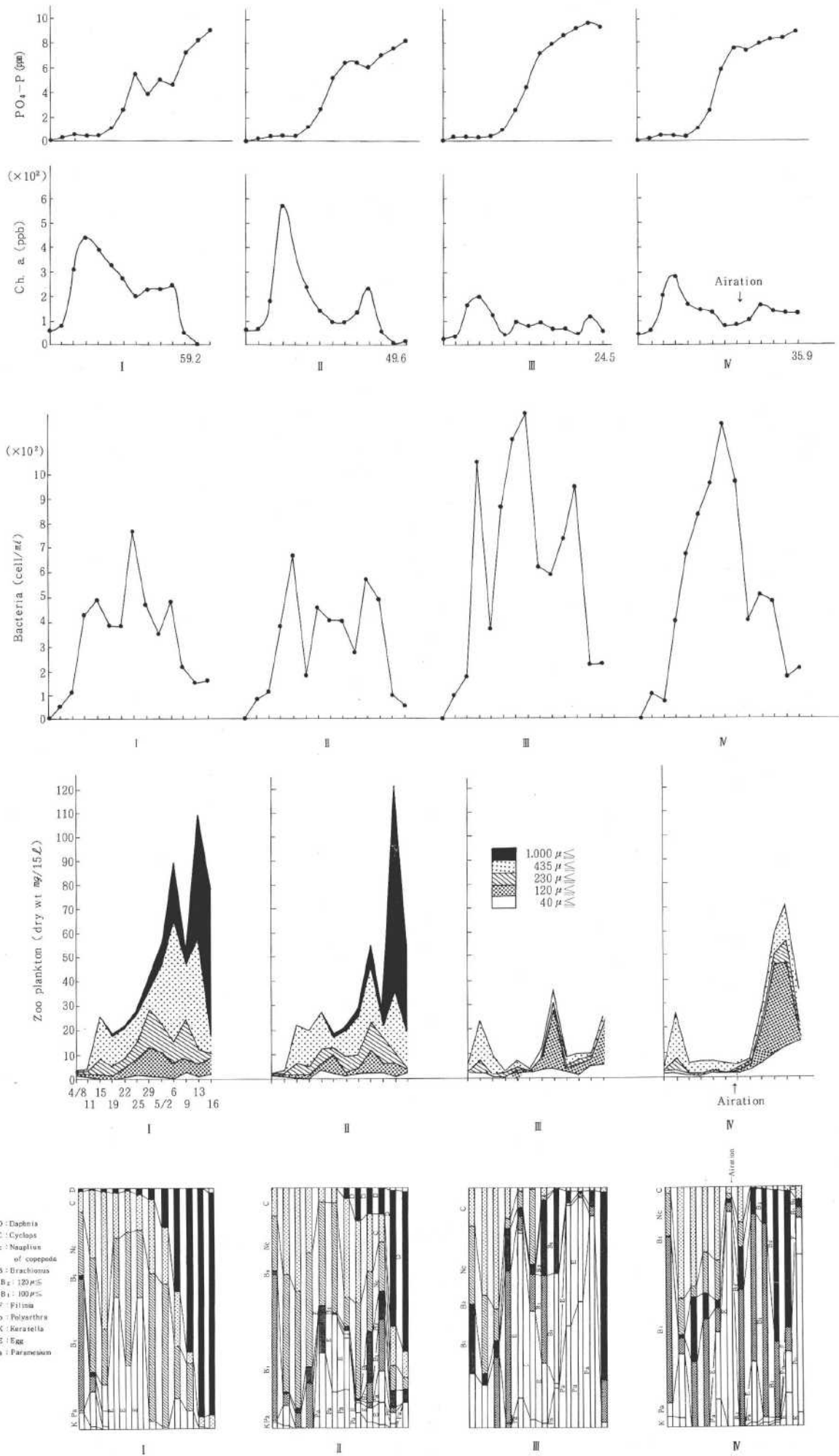
第5-(c)表 施肥後の動物プランクトンの種類と個体数占優率% - (2)炭水化物添加量と動物プランクトン

Date st	4 / 8				4 / 11				4 / 15				4 / 19			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Zoo plankton																
Egg*																
Keratella	7.1	2.5	9.7	4.2	0.9	1.2	2.3	3.4								
Filinia														0.6		
Polyarthra	0.7	0.8	12.6	5.7	12.3	0.1	15.6	27.4	0.9	0.6				19.0	1.6	
Brachionus(1)**	54.9	62.7	29.1	71.3	1.8	5.2	4.6	6.4	6.3	5.8	30.4	27.9		6.1	64.1	43.5
Brachionus(2)***	1.5	0.8	0.5	1.1	1.4	0.6		1.1	11.6	1.9	6.7	26.5		8.3	17.4	12.2
Nauplius of Cope	26.3	22.0	32.5	16.6	52.4	48.6	33.5	15.0	24.1	49.0	12.5	4.4		24.3	4.3	17.6
Cyclops	9.0	11.0	15.5	2.3	27.4	36.4	43.9	46.6	56.3	42.6	50.4	41.2		28.2	12.5	26.7
Daphnia									0.9					1.7		
Cypridal	0.4															
Date st	4 / 22				4 / 25				4 / 29				5 / 2			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Zoo plankton																
Paramecium																
Egg**	26.6	31.9	12.1	11.2	55.1	47.3	48.9	89.6	3.2	16.0	1.8		6.0	6.6	16.1	1.1
Keratella		29.3	69.4	28.4						21.8	25.5			4.6	2.0	88.6
Filinia			0.3													
Polyarthra			0.3				15.2	3.7	0.5	1.2				1.0		
Brachionus(1)**		0.7	6.6	9.5	0.2	1.5	3.8	1.5		0.8				3.0	46.2	8.2
Brachionus(2)**	0.3		3.1	3.4	28.0	45.3	31.7	2.0	61.6	0.8	36.0	45.0		2.5	35.3	1.2
Nauplius of Cope	55.4	32.5	6.9	17.2	14.4	5.9	0.4	3.0	31.0	12.3	2.1	10.0		54.6	41.0	2.5
Cyclops	16.9	5.6	1.2	30.2	2.1				3.7	40.7	3.3	15.0		23.7	33.9	5.0
Daphnia					0.2			0.1		4.1				15.7	13.7	0.2
Cypridae	0.8														0.2	0.1

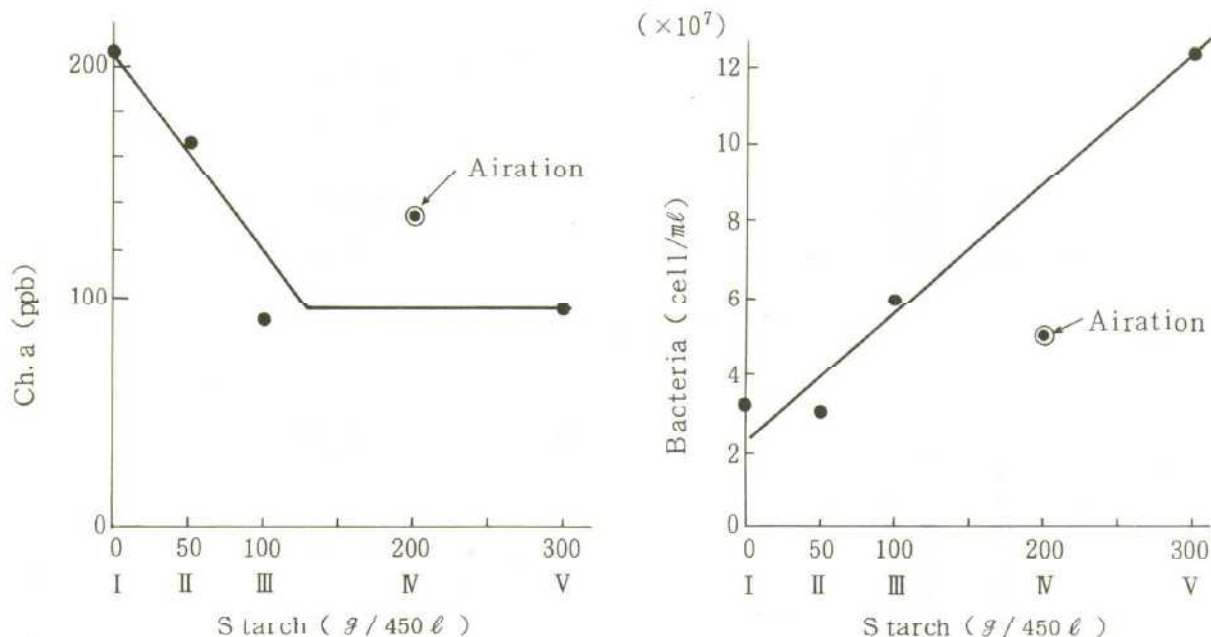
Date st Zoo plankton	5 / 6				5 / 9				5 / 13				5 / 16			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Paramecium	6.0	29.2	42.6		0.9	62.2										
Egg*	1.7	5.6	50.0	1.4	8.6	34.3								11.0	0.2	
Keratella			2.2					0.7				13.3				5.2
Filinia		1.3		0.2	0.9		1.4					10.6				15.5
Polyarthra		1.0			13.4		1.2			5.0		18.1				66.2
Brachionus(1)**	2.3	8.1	1.2	80.7	21.7	0.1	32.0			1.9	3.8	53.0			19.4	3.5
Brachionus(2)***	3.0	11.7	4.3	4.6	11.9	19.7	63.6			7.4	6.6	3.1		4.8	78.3	4.2
Nauplius of Cope	21.9	35.1			20.9	20.2	0.2			0.9	10.5	1.5	0.4	4.8	0.7	1.9
Cyclops	22.5	24.0	1.9		4.3	0.8	0.2			3.6	16.3	0.1		6.1	11.7	1.5
Daphnia	42.7	10.4		0.8	67.7	10.7	0.5			95.5	56.6			92.5	66.2	1.9
Cypridae														1.4	1.4	

* Egg : Brachionus の卵と思われるもの, ** Brachionus (1) : $\leq 100 \mu$, *** Brachionus (2) : $> 100 \mu$



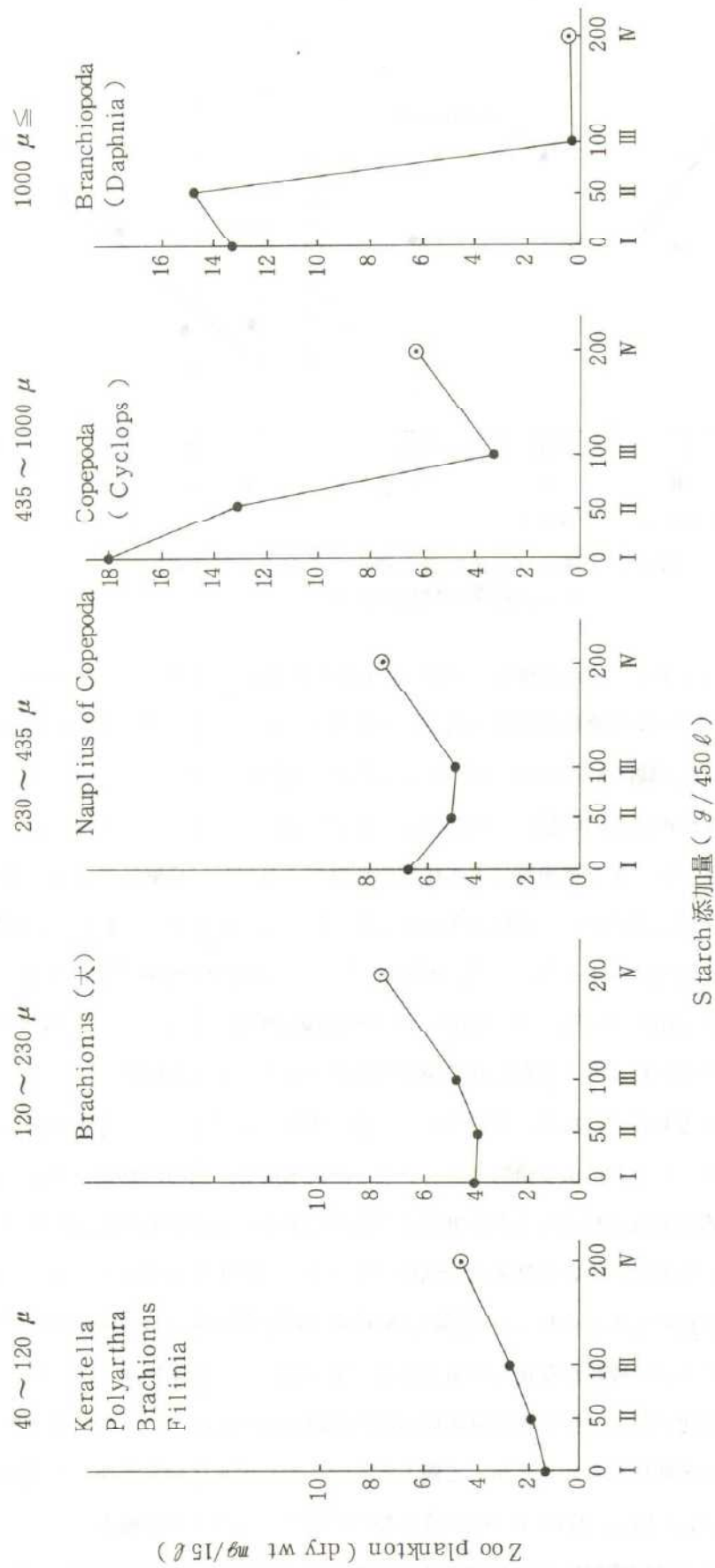


第5図 施肥後の水質およびプランクトンの経時的変化一(2)炭水化物添加量と動物プランクトン



第6図 デンプン添加量と植物プランクトン (Ch. a) および細菌増殖量の関係

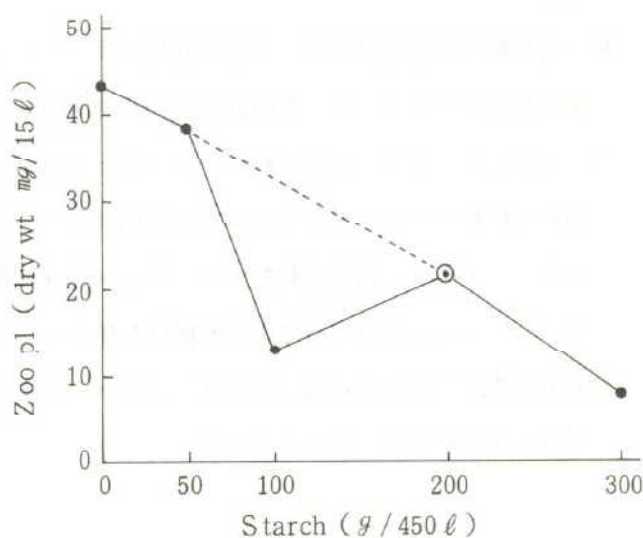
制されるようである。これに伴ってD.O.も低下が著しくなり、むしろD.O.の低下によって動物プランクトンの増殖が阻害されることも考えられる。そこで、水がわりが起きてD.O. = 0.8 ppmとなった試験区Ⅳにおいて施肥後22日目から緩やかにエアレーションを行なったところ、以後D.O.は8 ppm以上に回復し、植物プランクトンは(クロロフィル量で見て)再び増殖を示し、動物プランクトン増殖量は炭水化物添加量がより少ない試験区Ⅲよりも多くなった。エアレーションによるこれらの変化は次のことを示唆しているものと思われる。植物プランクトンはN源として主に $\text{NO}_3^- \text{N}$ の不足→植物プランクトン減衰→酸素不足→ $\text{NH}_4^- \text{N}$ から $\text{NO}_3^- \text{N}$ への移行の阻害→ $\text{NO}_3^- \text{N}$ の不足という悪循環が植物プランクトンの再増殖を妨げており、施肥池におけるいわゆる“水がわり”現象は動物プランクトンが植物プランクトンを直接摂餌することによるものではなく、主にこれら一連の事情によるものとの予想は前の試験結果で述べた。エアレーションにより植物プランクトンが再増殖し、同時に動物プランクトンも増殖した今回の試験結果はこれらのことを裏付けるものである。また酸素不足は動物プランクトンの増殖を阻害し施肥池において効率良く動物プランクトンを生産するためにはエアレーションを行なった方が良く考えられる。今回の試験結果で最も興味深い点は炭水化物添加により増殖動物プランクトンの種類が変化した事である。第5図に示した動物プランクトンの種類別占優率の経時的变化で見ると炭水化物無添加の場合にはDaphnia, Cyclops等大型の動物プランクトンが特に後期になるにしたがって優占するのに対し炭水化物を添加した試験区ではKeratella, Polyarthra, Brachionus等小型の動物プランクトンが優占している。第7図の炭水化物添加量と試験期間における動物プランクトンの大きさ別平均増殖量の関係について見る



第7図 デンプン添加量と動物プランクトンの大きさ別増殖量

と 40 ~ 120 μ の *Keratella Polyarthra*, 小型の *Brachionus*, *Filinia* および 120 ~ 230 μ の大型の *Brachionus* 等の *Rotatoria* は炭水化物添加量が多い程増殖したのに対し, 435 ~ 1000 μ の *Cyclops*, 1000 μ 以上の *Daphnia* といった大型動物プランクトンは炭水化物添加量が少ない程多く増殖している。このように炭水化物添加量によって増殖する動物プランクトンの種類が変化する理由については次のような事が考えられる。先に動物プランクトンの餌になっているものとして植物プランクトンの分解過程にあるものおよびバクテリアが考えられること, 炭水化物添加によって植物プランクトンの増殖は抑制され, バクテリアの増殖は促進される傾向にあることを述べたがこれらのことは, おそらく動物プランクトンの摂餌形態の違いによるものと思われるが *Daphnia*, *Cyclops* 等大型の動物プランクトンは分解過程にある植物プランクトンを, *Keratella*, *Polyarthra*, *Brachionus* 等小型の動物プランクトンはバクテリアをそれぞれ撰択的に摂餌していることを示唆しているものと思われる。次に炭水化物添加量と全動物プランクトン増殖重量との関係について見ると第 8 図に示すように炭水化物の添加量が多い程増殖動物プランクトン重量は減少する傾向を示している。したがって, ぶ

化稚魚の口が大型動物プランクトンを摂餌できる大きさの魚種を養成する場合には, 炭水化物の添加は餌の量が少なくなりマイナス効果となるので避けた方がよさそうである。以上, 今回の試験結果から粗放的な動物プランクトン培養を行なう施肥池においても, 施肥に加えてデンプン等の炭水化物を適量添加することによって, 動物プランクトンを大きさ別(種類別)に撰択培養することがある程



第 8 回 デンプン添加量と動物プランクトン増殖量の関係

度, 可能と思われる。なお炭水化物を添加する場合には酸素不足になりやすいのでエアレーション設備が必要となるであろう。

4. 要 約

500 l タンクを用いて施肥実験を行ない, 粗放的動物プランクトン培養における有機栄養物から動物プランクトン増殖に至る過程を調べると同時に, 施肥量と動物プランクトン増殖量の関係, およびワムシ類の撰択培養を目的として, 施肥に加えて炭水化物を添加し増殖動物プランクトン

の種類について検討した。

- (1) 施肥池における栄養物の供給は一般的には施肥として一度に行なわれるのみである。

このため主な流れとして(有機栄養物のバクテリアによる分解→)無機栄養塩の溶出→植物プランクトンの増殖→バクテリアの増殖→動物プランクトンの増殖の順で各々一つのピークを形成しながら推移していくものと思われる。

- (2) 施肥池における植物プランクトンの急激な減少(水がわり)は $\text{NO}_3 - \text{N}$ の不足がきっかけになっている。

- (3) 動物プランクトンは餌料として増殖期にある植物プランクトンを利用せず、活性を失なって分解過程にある植物プランクトンおよびバクテリアを主に利用するものと思われる。

- (4) 施肥量を増やすと、植物プランクトン・動物プランクトンとも増殖量は増加し、同時に各々の増殖ピークに達する時期が遅れる。

したがって多量に施肥を行なう場合はより早めに施肥する必要がある。

- (5) 炭水化物の施肥池への添加は植物プランクトンの増殖を抑え、バクテリア増殖に有利に作用する。

- (6) 炭水化物の添加はまた、大型の動物プランクトン(Branchiopoda, Copepoda)より小型の動物プランクトン(Rotatoria)の増殖を促す。

- (7) (3), (5), (6)により、小型の動物プランクトンはバクテリアを、大型の動物プランクトンは分解過程の植物プランクトンを各々主に摂餌利用しているものと考えられる。

以上のことから、粗放的動物プランクトン培養において施肥量、炭水化物添加量を変えたり、エアレーションを行なう等人為的操作を加えることによって植物プランクトン増殖過多による酸素過飽和に対する対策、動物プランクトンの増殖時期、増殖量、種類の撰択的培養などある程度の調節ができるものと思われる。