志賀高原における腐植栄養湖のプランクトンと一次生産

安田 郁子 (富山県立技術短期大学)

荒井 優実・井山 洋子 (富山県衛生研究所)

Plankton and primary production of the dystrophic lakes in Shiga Heights

Ikuko YASUDA,¹⁾ Masami ARAI,²⁾ Yoko IYAMA²⁾

1) Department of Sanitary Engineering, Toyama College of Technology

2) Toyama Institute of Health

はじめに

志賀高原の湖沼群は、これまで多くの研究者によって調査されてきている。そのうち、生物に関する主なものは、Miyadi (1931) による大沼池、琵琶池、丸池の底生動物相、Ūeno (1937) による13湖沼の動物性プランクトンとその生産性による湖沼の類型分け、鈴木ほか(1960)による水生菌類からの13湖沼のベントスとネットプランクトン、井出ほか(1974)による13湖沼の水質、プランクトン、底生動物の調査などである。これらの調査研究によれば、志賀高原の湖沼群は無機酸性湖(大沼池)、腐植栄養湖、富栄養湖に分けられており、水質や生物については大略明らかにされている。過去の研究により腐植栄養湖とされているのは、長池、渋池など小さく浅い湖沼群であり、これらのプランクトン相は、調和型湖沼に比べて極めて特殊な種類相を示し、かつ、動物性プランクトン量が少なくないのに対して、植物性プランクトンの量が極めて少ない(ただし長池には *Peridinium* などのベン毛藻が多い)という現象が示されている(Ūeno, 1934. 井出・小島, 1934. 安田, 1977)。しかし、過去におけるこれらの調査は、ほとんど、夏期に行われたものであるため、上述の現象が調査時期に限られたものか、あるいは年間を通じてのものかは不明である。また、11月に調査された例(津田ほか, 1972)もあるが腐植栄養湖の特徴をもっともよく示すと思われるナンノプランクトンの調査がなされていない。すなわち、志賀高原湖沼群について数多くの調査がなされているとはいえ、夏期以外の腐植栄養湖の動物性、植物性両プランク

トンの構成状態や現存量については、まだ明らかにされてはいない。腐植栄養湖のプランクトン相の特殊性やその生産性について論じるためには、まずプランクトン相を動物性、植物性両方の面から定量的に明らかにし、上述のような現象が年間を通じてみられるものであるかどうか、さらに腐植栄養湖におけるプランクトン相からみた特徴はどうであるかということを季節的变化も含めた上で把握する必要がある。

以上のような観点から、志賀高原において腐植栄養湖といわれている小湖群のプランクトンについて、種類相と量、一次生産量などを春、夏、秋の各季節に調査した。

その結果、腐植栄養湖の特徴について、若干の知見が得られたので報告する。

調査方法

1. 調査した湖沼

志賀高原には腐植栄養湖といわれている小湖は20近く存在すると思われるが、過去の調査回数が比較的多いのは、渋池、ヒョウタン池、上小池、三角池、長池などである。これらの湖沼は1974年7月下旬のプランクトン相により、表1のように渋池型と長池型に分けられた(安田, 1977)。本調査ではこれに基づき、調査対象として、渋池型の中から渋池と三角池を、長池型の中から長池を選んだ。さらに、比較のために、これらの湖沼と同様の気候条件にあって、しかも調和型富栄養湖(津田ほか, 1972. 安田, 1977)とされている木戸池を選び、合計4湖沼について調査を行なった。これらの湖沼の概況につ

本調査費の一部は、昭和51年度文部省特定研究「陸水富栄養化とその対策」研究費によった。

表1. 志賀高原腐植栄養湖群の夏季プランクトンによる類型（1974年）

	湖 沼 名	動 物 性 プ ラ ン ク ト ン	植 物 性 プ ラ ン ク ト ン
渋池型	渋池 ヒョウタン池 三角池 下ノ小池	<i>Acanthodiptomus pacificus</i>	非常に少ない
長池型	長池 上ノ小池	<i>Polyarthra trigla</i>	<i>Peridinium</i> sp. 無殻のペン毛薄

表2. 湖沼の概況（山ノ内町教育委員会，1976より一部引用）

湖沼名	標高 (m)	最深 (m)	長径 (m)	短径 (m)	流入河川	流出河川	湖 周	底 泥	備 考
木戸池	1630	6.1	185	132	硯 川	角間川	樹 林 疎	黒灰～黒褐色，粘土質，葉の破片は非常に少ない。	湖岸にホテル，ボート施設あり。
渋池	1790	1.8	155	57	なし	なし	樹 林 密 一部湿原	褐色，藻類で作られた双翅目の巣状のものから成る。	湖岸に人工設備なし。
三角池	1570	8.5	147	—	なし	なし	樹 林 密	褐色，粘土質，双翅目の巣や広葉樹の破片が混在	同 上。
長池	1570	8.0	224	44.8	なし	なし	樹 林 密	黒褐色，粘土質， H_2S 臭，広葉樹の破片少々混在	魚の放養，湖岸に宿舎あり。

いては，表2に示した。

3. 調査時期

志賀高原は，毎年12月から4月にかけて雪におおわれ，湖面が氷るため，この季節を除き春，夏，秋の各季節に一度ずつ調査を行なった。実施時期は1976年5月13～16日，8月5～8日，11月1日～4日である。

2. 調査項目と測定方法

(1) 理化学的水質 水温，透明度，酸化還元電位，電気伝導度，溶存酸素の各々については現場で測定し，COD， PO_4 -P， NH_4 -N， NO_2 -N， NO_3 -N，Fe，Mnについては，原水500mlに対し飽和昇汞溶液1mlの割合に加えて資料を保存し，実験室に持ち帰り測定した。水温はサーモメーター，pHは溶液比色法，溶存酸素はウィンクラー変法により，COD（ $KMnO_4$ ，酸性法）， PO_4 -P（ブタノール抽出，モリブデン酸青法）， NH_4 -N（水蒸気蒸留，吸光光度法） NO_2 -Nと NO_3 -N（還元蒸留，吸光光度法）は各々，JIS-K-0102によった。Fe，Mnは，硝酸酸性で蒸発乾固し，珪酸を除いた後0.2N硝酸溶液とし，原子吸光光度法により測定した。

(2) プランクトン 動物性プランクトンは，網地No.25の北原式定量用中層プランクトンネットを用いて，層別に垂直採集し，ホルマリンで固定した。植物性プランクトンは，各水深別に原水500mlを採水し，ルゴール液で固定した後，3000 rpmで10分間遠心分離し，その沈殿物を資料とした。それぞれ種類毎に計数し，さらに各種の平均体積を求め，現存量を算出した。なお，無殻のペン毛藻については1500倍の倍率で検鏡した（他の種類は150～600倍）。

(3) 生産量と呼吸量 明ビン暗ビンを表層，中層，下層の各深度毎に2本ずつ24時間つるし，溶存酸素の変化量から生産量と呼吸量を算出した。

結果と考察

1. 理化学的水質

測定結果を表3に示した。

pH：木戸池では5月にやや酸性であるが，それ以外は大体中性である。三角池，渋池，長池では酸性(4.6～5.2)である。腐植栄養湖には酸性型と中性型とがある（吉村，1937）といわれているが，志賀高原の場合は酸

表3. 理化学的水質調査結果(1976)

湖沼名	調査日	水深 (m)	透明度 (m)	水温 (°C)	pH	電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	酸化還元電位 ($\times 100\text{mV}$)	DO (%)	COD (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	T.Ino-N (mg/l)	Fe ²⁺ , ³⁺ (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)
木戸池	5. 14	0	3.36	9.5	6.8	—	1.4	95.1	3.3	0.011	0.15	0.003	0.10	0.25	0.12	0.05
		3		9.0	6.6	—	1.5	88.7	3.7	0.003	0.11	0.002	0.08	0.20	0.15	0.05
		6		7.0	6.6	—	1.6	75.2	3.8	0.003	0.06	0.002	0.05	0.11	0.35	0.05
	8. 7	0	2.4	18.6	7.0	63	1.44	97.0	2.5	0.006	0.02	0.001	0.06	0.07	0.08	0.02
		2		17.8	7.1	60	1.48	101.0	2.5	0.003	0.00	0.001	0.01	0.01	0.10	0.02
		5		13.9	6.4	50	1.58	16.4	3.4	0.005	0.03	0.000	0.05	0.07	0.38	0.10
	11. 2	0	2.9	5.8	7.2	47	—	92.7	3.6	0.001	0.03	0.001	0.03	0.06	0.04	0.01
		2		5.8	7.2	47	—	92.3	2.0	0.001	0.02	0.002	0.03	0.05	0.07	0.02
		5		6.0	7.2	47	—	92.7	1.9	0.003	0.02	0.000	0.03	0.05	0.06	0.01
渋池	5. 14	0	1.85< (底)	8.2	4.8	—	1.3	88.2	7.4	0.006	0.10	0.002	0.04	0.14	0.35	0.05
		1.5		7.2	4.7	—	1.8	85.9	7.4	0.003	0.07	0.001	0.04	0.11	0.35	0.05
	8. 6	0	1.5< (底)	18.8	4.6	16.2	1.84	78.6	9.0	0.007	0.11	0.001	0.04	0.15	0.29	0.03
		1.5		17.0	4.7	15.1	1.90	75.1	10.3	0.004	0.03	0.001	0.04	0.07	0.30	0.04
		0	1.2< (底)	1.8	4.8	8.9	—	91.8	4.8	0.000	0.05	0.001	0.05	0.10	0.14	0.04
	11. 2	1		2.2	4.9	9.5	—	91.9	5.3	0.000	0.04	0.000	0.04	0.08	0.14	0.04
三角池	5. 14	0	6.8	11.1	4.8	—	2.1	99.0	3.4	0.003	0.07	0.001	0.02	0.09	0.05	0.05
		3		9.2	4.8	—	2.3	96.5	2.5	0.006	0.04	0.000	0.04	0.08	0.05	0.05
	7			6.6	4.8	—	2.5	82.5	3.3	0.003	0.02	0.000	0.03	0.05	0.04	0.07
	8. 6	0	6.0	20.7	4.8	20	1.85	86.1	2.1	0.003	0.04	0.001	0.03	0.07	0.06	0.03
		3		20.0	5.1	23	2.00	88.4	2.0	0.004	0.03	0.000	0.03	0.06	0.08	0.03
	7			15.6	4.8	23	2.10	69.7	2.0	0.004	0.02	0.000	0.05	0.06	0.06	0.04
	11. 2	0	6.7< (底)	7.4	5.0	11.5	—	90.6	1.5	0.001	0.07	0.001	0.03	0.10	0.05	0.02
		3		5.6	5.2	13.0	—	92.9	1.5	0.003	0.05	0.000	0.04	0.09	0.04	0.02
	6			5.5	5.1	13.9	—	89.0	2.0	0.003	0.06	0.000	0.04	0.10	0.04	0.02
長池	5. 14	0	1.9	11.0	6.2	—	1.7	115.1	5.8	0.003	0.12	0.003	0.12	0.24	0.09	0.10
		3		6.7	5.0	—	2.3	77.3	7.6	0.003	0.21	0.002	0.09	0.30	0.09	0.15
	8			4.5	5.2	—	2.5(底泥0.5)	47.7	6.3	0.006	0.40	0.003	0.08	0.48	0.16	0.19
	8. 6	0	1.4	20.8	5.1	15.2	2.0	100.9	7.8	0.003	0.02	0.001	0.04	0.06	0.11	0.02
		3		16.0	5.0	14.3	2.1	35.1	5.8	0.002	0.04	0.001	0.04	0.08	0.15	0.03
	7			9.5	5.2	15.3	-0.85	4.9	7.5	—	0.00	0.001	0.03	0.03	0.40	0.04
	11. 2	0	1.4	6.9	5.2	—	—	83.8	6.5	0.001	0.03	0.001	0.03	0.06	0.14	0.03
		3		5.9	5.2	—	—	80.6	5.9	0.001	0.03	0.000	0.04	0.07	0.12	0.04
	7			5.7	5.2	—	—	77.7	5.8	0.000	0.04	0.001	0.04	0.08	0.13	0.04

性型に属している。

電気伝導度：一般に腐植栄養湖では電解質に乏しい（吉村，1937）が，今回の場合も，8月と11月の測定結果では，渋池，三角池，長池において大体10～20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で，木戸池の50～60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に比べてかなり低い値であった。

酸化還元電位：11月を除く5月と8月に測定した。還元状態のみられたのは8月の長池底層水である。しかし，長池の底泥は8月以外の時でも常に硫化水素臭を伴っていたので，長池の底泥表面は5月や11月でも，還元状態かあるいはそれに近い状態であると考えられる。

溶存酸素：木戸池と長池では，8月に底層での溶存酸素の減少が大きい。8月の長池では水深3mですでに飽和度35%に低下している。渋池と三角池ではそれほど大きな低下はみられず，8月にやや低い値を示している程度で，大体90%前後の飽和度を保っている。

COD：腐植栄養湖では過マンガン酸カリ消費量は通常大きく20～100 mg/ℓ （吉村，1937）といわれており，これはCODに換算して5～25 mg/ℓ に相当する。本調査ではCODは，渋池と長池で5 mg/ℓ 以上で，三角池では非常に値が小さく5 mg/ℓ 以下である。木戸池でも小

さい。季節的には，11月にややCODの低い傾向がみられるが，大きな変化はない。

$\text{PO}_4\text{-P}$ ：どの湖沼でも非常に少ないが，11月にはとくに小さな値を示している。

無機態窒素：湖沼により，季節により多少の差がみられるが，どの湖沼でも無機態窒素がとくに少ないという現象はみられなかった。

鉄イオン：渋池で5月と8月に0.3～0.35 mg/ℓ と比較的高い値を示すが，11月には0.14 mg/ℓ である。他の湖沼でも，底層水を除き，高くはない。

マンガンイオン：長池で5月に0.1～0.2 mg/ℓ と他の3湖沼に比べ，やや高い値を示しているのみで，長池の5月以外の時期や他の湖沼では，大体0.02～0.05 mg/ℓ の範囲である。

2. プランクトンの種類構成

表4，5は，動物性プランクトンと植物性プランクトンの種類組構成を個体数あるいは細胞数で示したものである。

動物性プランクトンについての主な結果は次のようである。木戸池では輪虫類が優占的で，*Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *micracantha* と *Polyarthra trigla*

表4. 動物性プランクトン（1976年，数字は全層平均の個体数/ $\text{m}\ell$ ）

sp.	木 戸 池			渋 池			三 角 池			長 池		
	5月	8月	11月	5月	8月	11月	5月	8月	11月	5月	8月	11月
(Rhizopodea)												
<i>Diffugia</i> sp.				+						1		
(Rotifera.)												
<i>Rotaria</i> sp.	2			29						0.6		
<i>Collotheca</i> sp	9	40										
<i>Conochilus hippocrepis</i>											63	5
<i>Polyarthra trigla</i>	20	170	0.5							78		6
<i>Trichocerca cylindrica</i>		72										
<i>T.</i> sp.										0.5	2	
<i>Asplanchna priadonta</i>		120										
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>macrocantha</i>				+	760	220	3	490	76			+
<i>K. cochlearis</i> var. <i>tecta</i> f. <i>micracantha</i>	91	560	150	3			3					
<i>K. quadrata quadrata</i>										60	1	
<i>K. quadrata irregularis</i>										4		
<i>Filinia longiseta</i>	+											
(Cladocera)												
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>					3			24	0.6			
<i>Daphnia longispina</i>					+		0.07	1	0.2			
<i>Bosmina coregoni</i>		12								42	4	
(Copepoda)												
<i>Acanthodiaptomus pacificus</i>					5	5	0.02	50	7			
Nauplius of <i>Acanthodiaptomus</i>				0.2			24	7	0.5			
<i>Cyclops strenuus</i>												
Nauplius of <i>Cyclops</i>	2		6							15	618	1419

表5. 植物性プランクトン (1976年, 数字は全層平均の細胞数/ml)

湖沼名 採集時期 sp.	木戸池			沢池			三角河			長池		
	5月	8月	11月	5月	8月	11月	5月	8月	11月	5月	8月	11月
Fungi				+	+	+						
(Chrysomonadida)												
<i>Mallomonas</i> spp.		+		+		+	9			+	+	+
<i>Dinobryon divergens</i>	+	+	34			+						
<i>D. cylindricum</i>						+						
<i>D. sertularia</i>	173	3.1	34	143		+	70			230		
<i>Synura</i> spp.	+	+	+			+					+	+
<i>Chrysococcus bisetus</i>				+					+			
(Dinoflagellida)												
<i>Peridinium</i> sp.	2.6	9.6	23	22		3.7	15		+	100	90	53
<i>Ceratium hirundinella</i>			+									
(Euglenoida)												
<i>Euglena</i> sp.	0.1	0.1	22				+			680	310	1100
<i>Trachelomonas volvocina</i>		0.8										
<i>T. hispida</i>		0.1										
(Phytomonadida)												
<i>Chlamydomonas</i> sp.			11									
Flagellata	69	+	813	648	0.3	530	1320	350	3300	23000	68000	150000
(Cyanophyceae)												
<i>Aphanothese saxicola</i>										+		
<i>Dactylococopsis raphidioides</i>		0.1										
<i>Stigonema ocellatum</i>					++*	+						
(Bacillariophyceae)				+								
<i>Melosira italica</i>	101	38	160									
<i>M. distans</i>			33				+	18				
<i>Tabellaria fenestrata</i>	3.4	0.8	12									
<i>Fragilaria crotonensis</i>	19	45	57									
<i>Asterionella gracillima</i>	+	0.7	23									
<i>Eunotia</i> sp.				+								
(Chlorophyceae)												
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	13	2.4	53	53			103			99	260	1900
<i>Scenedesmus bijuga</i>								+				
<i>S. quadricauda</i>		0.1	11									
<i>S. sp.</i>	0.2		0.07									
<i>Microspora tumidula</i>						+						
<i>M. quadrata</i>										+		
<i>Oedogonium</i> sp.				+		+				+		
<i>Spirogyra</i> sp.				+								
<i>Mougeotia</i> sp.				+			+	+	+			
(Rhodophyceae)												
<i>Batrachospermum</i> sp.				+	+++*	+						

*: 底泥上, +: 極少, ++: 少, +++: 普通)

Depth (m)	Kashiwa (木戸池) D.O. (%)	Nagauchi (長池) D.O. (%)	Shiga (澁池) D.O. (%)
6	~65	~65	~65
3	~85	~75	~85
0	100	100	100

状態に弱いということは門田(1971)により実証されているが、本調査結果からみても同様のことが考えられる。

次に、植物性プランクトンの主な種類は、木戸池では *Melosira italica*、渋池と三角池では *Dinobryon sertularia* (5月)、*Peridinium* sp. (5月)、その他の無殻ペン毛藻類、長池では *Peridinium* sp., *Euglena* sp., その他の無殻ペン毛藻類である。無殻ペン毛藻類の種類数は、

species	pond	長 池			三 角 池		渋 池		木戸池
		5月	8月	11月	5月	11月	5月	11月	
<i>Mallomonopsis elliptica</i>		○	○	●			○		○
<i>Mallomonas (acaroidea) fo. ?</i> **									○
<i>M. tonsurata</i>									○
<i>M. actinoloma</i>		○	○	●	●		●	○	○
<i>M. heterospina</i>								○	
<i>M. papillosa</i>							○	○	
<i>M. (alpina) ?</i>									○
<i>M. fastigata</i>									○
<i>M. sp.</i>		○	○	○					
<i>Synura sphagnicola</i>			○			●		○	●
<i>S. mammillosa</i>			○	○					
<i>Chrysosphaerella solitaria</i> *							○		○
<i>Spiniferomonas bourrellii</i>		○			○		●	●	○
<i>S. triorialis</i>			●						○
<i>S. bilacunosa fo.</i>									○
<i>S. curucigera</i>			○						○
<i>S. sp.</i>							○		
<i>Paraphysomonas vestita</i>				○					
<i>P. sp.*</i>		●							
<i>Chrysococcus bisetus</i> **						○	○		
<i>Pseudokephryon sp.</i>			○	○					
<i>Sphaleromantis sp.**</i>						○			

。存在

- やや多い

◎多い

高橋（未発表）によれば *Chrysophyceae* だけでもかなり多い（表6）。また、木戸池にもペン毛藻類はみられるが、植物性プランクトン全体の中でペン毛藻類の占める割合が、渋池、三角池、長池に比べてかなり小さい（表5）。さらに、4湖沼とも優占的な種類はどの時期も大体同様である。これらのことから、木戸池と他の3湖沼（腐植栄養湖）とでは、優占的な種類は異なり、腐植栄養湖ではペン毛藻類が主な構成種であるといえる。腐植栄養湖における植物性プランクトンは、これまで、珪藻、鼓藻、ペン毛藻があげられている（吉村，1973。白石・倉沢，1973など）。本調査の場合、表5からもわかるように、珪藻、緑藻、その他藍藻も出現しないことはないが、量的には極めて少ない。また、鼓藻はしばしば腐植栄養湖に多いといわれるが、今回の調査では鼓藻は渋池の岸边にある水ごけ周辺のみにもみられ、湖心部付近にプランクトンとして出現することはなかった。これらの藻類に比べて、ペン毛藻類は量的にかなり多く存在する。このような現象は、北海道の泥炭地池沼（羽田，1937，1939，1943）においても観察されており、今回の調査結果と同様、鼓藻は岸の水草間には多いが沖部のプランクトンとしては少ないこと、珪藻や緑藻は極めてわずかで運動性のあるペン毛藻類が植物プランクトンの主体であることなどが述べられている。

なお、渋池、三角池、長池のネットプランクトン中に *Mougeotia* sp. など糸状の藻類が少量みられた（表5，

表7. プランクトンの現存量（1976年，単位は cm^3/m^3 ）

	月 日	動物性 プランクトン	植物性 プランクトン	植 プ 動 プ
木戸池	5. 14	0.03	0.82	27
	8. 6	0.68	0.25	0.37
	11. 2	0.03	1.24	41
渋 池	5. 14	0.02	0.84	42
	8. 6	0.33	0.0000 ₂	0.0000 ₆
	11. 2	0.34	0.05	0.15
三角池	5. 14	0.03	0.62	21
	8. 6	0.92	0.08	0.09
	11. 2	0.36	0.22	0.61
長 池	5. 14	0.05	4.45	84
	8. 6	0.34	1.67	4.9
	11. 2	0.43	3.99	9.3

図2. プランクトンの現存量図

下欄）。また、渋池の底泥や岸付近に藍藻の *Stigonema ocellatum*、紅藻の *Batrachospermum* sp. の付着がみられた。渋池の底泥は各季節とも *Stigonema ocellatum* や珪藻類の遺骸から形成された双翅目（ユスリカ科？）の巣の様なもの（径0.7～0.9mm、長さ5.5～8mmの円筒形）で満たされている。このような底泥や岸に付着の糸状藻類について、本調査ではとくに定量採集はしていないので、どの程度存在するのか明らかでない。ここでは一応、プランクトンのみを考察の対象とし、付着藻類は省いた。

3. プランクトンの現存量

動物性、植物性両プランクトンについて各種類ごとに体積を求め、それらの値から全層平均の体積を算出し、表7および図2に示した。

各湖沼において、動物性、植物性両プランクトンとも、量的に季節変動がみられる。解氷期の5月には4湖沼と

も動物性プランクトンが少なく、植物性プランクトンが比較的多い。また、8月には動物性プランクトンが増加し、植物性プランクトンは減少するという傾向がどの湖沼でもみられるが、三角池と渋池で、植物性プランクトンが極端に減少しており、とくに渋池での減少が著しい。11月には、植物性プランクトンはどの湖沼でもやや増加しているが、渋池ではなお少量である。

一方、植物性プランクトンと動物性プランクトンの体積比は、長池では84(5月)、5(8月)、9(11月)であり、常に植物性プランクトンの方が多量である。同様に、渋池での比は42(5月)、0000(8月)、0.15(11月)、三角池では、21(5月)、0.09(8月)、0.61(11月)である。したがって、過去の調査研究(Ūeno, 1934. 安田, 1977)でいわれてきたと同じく、8月に渋池と三角池で動物性プランクトンの存在量に比して植物性プランクトンが極端に少ないという現象がみられる。しかし、11月には植物性プランクトンが少ないながらもその比はやや増加し、5月には植物性プランクトンの方がかなり多いということから、上述の現象は、夏季にもっとも著しく現れるものであり、年間を通じての現象ではないことがわかる。また、木戸池ではこの比は、27(5月)、0.4(8月)、41(11月)で、8月に小さくなるが、8月の渋池や三角池ほど極端に小さい値にはならない。

4. 植物性プランクトンの生産量

4湖沼のうち、渋池では明ビン中で暗ビン中よりも大

きく酸素が減少したので、生産量は求められなかった(表8)。このような現象は、腐植栄養湖といわれている白駒池や熱帯のペラ湖においてもみられている(沖野ほか, 1976)。したがって、渋池以外に三角池や長池においても上述のような現象が表面化するに至らなかったとしても存在した可能性は考えられるので、ここでは生産量の値自身については検討せず、湖沼間の生産量の大小比較についてのみ考察することにした。

表8からわかるように、いずれの調査時でも3湖沼の中で長池の総生産量が最も大きく、三角池では総生産量、呼吸量ともに非常に小さい。図3は、各湖沼の表層における植物性プランクトンの現存量と総生産量をプロットしたものである。これらに、最小2乗法の原理より直線 $Y=ax+b$ (Y :表層での総生産量, x :植物性プランクトンの体積)をあてはめると、5月は $Y=0.07x-0.04$ (相関係数 $r=0.99$)、8月は $Y=0.38x+0.24$ ($r=0.98$)、11月は $Y=0.07x+0.10$ ($r=0.99$)となる。季節別にみれば、植物性プランクトンの現存量と総生産量とは大体比例している。これらのことから、志賀高原の腐植栄養湖の場合、生産量(植物性プランクトンによる)の高い湖沼と低い湖沼があり、そして、この差は主として、植物性プランクトン量のちがいによるところが大であると考えられる。

5. 腐植栄養湖における2つの型について

志賀高原で今回調査した腐植栄養湖は、前述の植物性

表8. 生産量と呼吸量(1976)

調査月日		5.14~15			8.6~7			11.2~3		
木戸池	水深(m)	0	3	6	0	2	5	0	2	5
	総生産量 O_2 mg/ℓ/日	0.00	0.22	0.00	0.33	0.35	0.26	0.25	0.31	0.17
	呼吸量 " "	0.09	0.03	0.28	0.25	0.36	0.29	0.15	0.13	0.30
渋池	水深(m)	0	1.5		0	1.5		0		
	総生産量 O_2 mg/ℓ/日	—	—		—	—		—		
	呼吸量 " "	0.38	0.28		0.25	0.08		0.18		
三角池	水深(m)	0	3	7	0	3	7	0	3	6
	総生産量 O_2 mg/ℓ/日	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
	呼吸量 " "	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.04	0.4	0.0
長池	水深(m)	0	3	8	0	3	7	0	3	7
	総生産量 O_2 mg/ℓ/日	0.76	0.31	0.00	0.74	0.09	0.00	0.44	0.12	0.00
	呼吸量 " "	0.30	0.27	0.28	0.51	0.00	0.45	0.12	0.19	0.18

図3. 表層における植物性プランクトン量と総生産量の関係

表9. 腐植栄養湖の2つの型

型	湖沼名	植物性プランクトンの量	植物性プランクトンによる一次生産量	動物性プランクトン相	夏期底層のD.O.
渋池型	渋池 三角池	春：多い 夏：極少 秋：少～やや増加	小さい	<i>Acanthodiptomus pacificus</i> <i>Keratella cochlearis</i> var. <i>macrocantha</i>	多い
長池型	長池	春夏秋を通じて多い	大きい	<i>Cyclops strenuus</i> <i>Keratella quadrata</i> <i>Polyarthra trigla</i>	少ない なし

プランクトン量や生産量、および動物性プランクトン相、夏季停滞期における溶存酸素の垂直分布などからみて、2つの異なった型に分けることができる。すなわち、渋池、三角池にみられる型（渋池型）と長池にみられる型（長池型）で、概略的には表9のようになる。羽田(1938)は北海道の泥炭地池沼を、貧、中、富、悪栄養型の4つの型に類型分けした。しかし、現在なお、腐植質の植物性プランクトン生産性に対する影響の機構が不明確であるため、ここでは上の2つの型を、渋池型、長池型と仮唱した。なお、安田(1977)は志賀高原の腐植栄養湖群（6湖沼）を1974年夏季プランクトン相によって2つの型に類別した（表1）が、本調査の結果による類別（表9）はこれと矛盾していない。

以上のように、腐植質が存在し、酸性であるという点では、渋池、三角池、長池は共通しているのにもかかわらず、渋池、三角池で植物性プランクトンが比較的少なく、長池でのみ常に植物性プランクトン（ペン毛藻）が多い。この理由の一つとして、前述のように長池で底泥が還元状態に近いことが関係しているのではないと思われる。泥からリンの溶出は、底泥のタイプによって異

なり (Chiou, et al. 1974), また酸性の場合には窒素、リンなどの栄養塩類が底泥からの溶出しにくい (Nielsen, 1974, Andersen, 1974, 1975) といわれているが, Nielsen (1974) によれば, pH 5 位の腐植栄養湖底泥でも酸化状態におけるより還元状態における方が, より多くリン酸イオンやアンモニウムイオンを溶出するという結果が示されている。このことから, たとえ腐植栄養湖であっても, 底泥が還元状態に近ければ植物性プランクトンの生産にとって栄養塩類が多くなり得るという意味で重要な要因ではないかと考えられる。そして, 長池でのみ底泥が還元状態に近い理由については, 断定できないが, 過去の資料および現在の環境条件から考えて, 次のように推測される。Ueno (1934) によれば, 1931年8月当時, 長池ではネットプランクトンとして *Acanthodiptomus* と *Conochilus volvox* が多くみられていて, 現在の夏季動物性プランクトン相とは異なっていた。溶存酸素の垂直分布についても, 当時図4のように夏季停滞期の底層でも酸素は十分溶存しており, 渋池や三角池と比べて大差がない。それが1931年以後現在までの間に底層で溶存酸素が大きく減少し, 橈脚類が *Acanthodiptomus* でな

図4. 1931年8月の溶存酸素垂直分布 (UENO, 1934)

く *Cyclops* になり、渋池などと異なった状態に変化したと考えられる。また、現在の長池の周囲の状況について、渋池や三角池と異なった点は、池のすぐそばに宿舎（1957年11月開設）が建てられていることと、コイやフナなどの魚の放養があることである。宿舎の浄化槽処理水は浸透作用によって放流しているため、栄養物質を含んだ水が長池に入っている可能性がある。また、魚の放養については、1931年以前にもコイが少し生息していたそうであるが、1939年にフナが放され、さらに1943年にも大量にフナが放されたということである（地元民の話による）。このような魚の排泄物による底泥有機物の増加は当然考えられる。とにかく、1931年上野による調査以後に長池の環境条件が大きく変化したことは事実であり、このような環境条件の変化が、間接的ではあっても、長池の底泥の酸素消費をより大きくした原因の一つではないかと考えられる。

また、腐植質と植物性プランクトンの生産との関係について、腐植質の濃度によっては、それが植物性プランクトンの生産を高める (Shapiro, 1957. Prakash, et al. 1973) という報告もあるが、一方、腐植質はリン酸イオンや硝酸イオンを吸着する (Ohle, 1935, 1963) ともいわれているほか、腐植質の定義も一定でなく、腐植質の植物性プランクトンに対する影響について本質的にはまだ解明されないままである。したがって、腐植栄養湖における植物性プランクトンの生産について検討するには、今後、腐植栄養湖の腐植質の定義を明確にするとともに、水中や底泥中の栄養塩類と腐植質とがどのような機構で植物性プランクトンの生産に関係しているかという点について明らかにする必要があると思われる。

摘 要

本調査は志賀高原の腐植栄養湖について、プランクトンからみた特殊性を明らかにするために行なった。1976年5月、8月、11月の各時期に、志賀高原の腐植栄養湖

といわれている渋池、三角池、長池、および調和型富栄養湖といわれている木戸池において、プランクトン、一次生産、水質について調査した。

1 理化学的水質の面では、酸性であること、電気伝導度が低いことが腐植栄養湖（渋池、三角池、長池）において共通した現象であった。またCODは長池と渋池で高く、調査した4湖沼とも、リン酸イオンは少ないが、無機態窒素は少なくなかった。

2 腐植栄養湖としてのプランクトンからみた大きな特徴は、植物性プランクトン相にあった。すなわち、ペン毛藻類を主体としており他の種類は非常に少ない。

3 植物性プランクトンの現存量は5月に多く8月に減少するという傾向があり、とくに、8月に渋池と三角池で激減する。しかし、長池をも含めると、腐植栄養湖として共通の量的な特徴はみられなかった。

4 動物性プランクトン相が季節変化や溶存酸素の垂直分布状態による影響を受けている可能性は認められたが、腐植栄養湖に共通した動物性プランクトン相はみられなかった。

5 動物性プランクトンの現存量は、腐植栄養湖では5月に少なく、8月、11月に多い。また、各時期における現存量についても3つの腐植栄養湖間で大差はみられなかった。

6 植物性プランクトンの生産量は、三角池、長池、木戸池において測定されたが、5月、8月、11月のいずれも三角池で最も小さく、長池で最も大きい。生産量は腐植栄養湖間でも全く異なっており、植物性プランクトン量に大略比例していた。

7 本調査における3つの腐植栄養湖は季節的変動を考慮してもなお、植物性プランクトン量やその生産などからみて、2つの型に分けられる。すなわち、植物性プランクトン量およびその生産量の多い湖沼（長池型）と少ない湖沼（渋池型）である。なお、この2つの型は、1974年7月下旬のプランクトンによって類別された2つの型（安田, 1977）と矛盾しないものであった。

謝 辞

藻類の同定に御教示を頂いた神戸大学の高橋永治博士、熊本県宇土高校の森通保博士、埼玉県熊谷女子高校の中村武氏、ならびに御校閲を頂いた奈良女子大学の渡辺仁治博士、さらに、長池の魚について種々お教え頂いた志賀自然教育研究施設の渡辺隆一氏に深謝の意を表する。また、調査に同行願った種々の御協力を頂いた富山県衛生研究所の山崎茂一副主幹研究員、富山県立技術短大の安田正志博士、同短大学生の谷田久幸氏、北林忠司氏に厚く御礼申し上げる。

引用文献

Andersen, J. M. (1974) : Nitrogen and phosphorus budgets and the role of sediments in six shallow Danish lakes. Arch. Hydrobiol., **74**, 4, 528—550.

—(1975) : Influence of pH on release of phosphorus from lake sediments. Arch. Hydrobiol., **76**, 4, 411—419.

Chion, C. J. ; Boyd, C. E. (1974) : The utilization of phosphorus from muds by the phytoplankton, *Scenedesmus dimorphus*, and the significance of these findings to the practice of pond fertilization. Hydrobiologia, **45**, 4, 345—355.

羽田良禾(1937) : 泥炭地池沼の研究 I. 床潭における泥炭地沼(後編). 陸水雑, **7**, 1, 13—30.

—(1938) : 泥炭地池沼の生物. 日本学術協会報告, **13**, 3, 431—435.

—(1939) : 大雪山沼の平泥炭地沼群の水質と生物. 生態学研究, **5**, 4, 267—276.

—(1943) : 富栄養型泥炭地沼のプランクトンの季節変化. 生態学研究, **9**, 1, 17—24.

井出嘉雄・一戸正憲・小島力・落合照雄・関口信男(1974) : 志賀高原湖沼群の陸水生物学的研究 I～V. 日本水処理生物学会第11回大会講演要旨, p. 9—12.

門田定美(1971) : 高山湖沼における主要甲殻類プランクトンの生態に関する研究. 陸水雑, **32**, 3, 47—84.

Miyadi, D. (1931) : Studies on the bottom fauna of Japanese lakes I. Lakes of Sinano province, Japanese Journal of Zoology, **3**, 5, 201—257.

Nielsen, L. K. (1974) : Mud-water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and factors affecting the exchange rates. Arch. Hydro-

biol., **73**, 2, 218—237.

Ohle, W. (1935) : Organische Kolloide in ihrer Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. Die Naturwissenschaften, **28**, 6, 480—484.

—(1963) : Kolloidkomplexe als Kationen- und Anionenaustauscher in Binnengewässern. Vom Wasser, **30**, 50—64.

沖野外輝夫・吉沢清晴・磯部吉章(1976) : 腐植栄養湖に関する研究 I. 北ハケ岳白駒池の物理化学的性状と動植物プランクトンの現存量. 第23回日本生態学会大会講演要旨集.

Prakash, A.; Rashid, M. A.; Jensen, A.; Subba Rao, D. V. (1973) : Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton : Diatoms. Limnol. Oceanogr., **18**, 4, 516—524.

Shapiro, J. (1957) : Chemical and biological studies on the yellow organic acids of lake water. Limnol. Oceanogr., **11**, 3, 161—179.

白石芳一・倉沢秀夫(1937) : 霧ヶ峰高層湿原池沼の陸水学的研究. 霧ヶ峰の陸水, p. 45—92.

鈴木静夫・畠山忠史(1960) : 志賀高原湖沼の水生菌類. 陸水雑, **21**, 64—72.

津田松苗・森下郁子・生田美和子・古屋八重子(1973) : 志賀高原湖沼群の水生物相. 日本水処理生物学会誌, **9**, 2, 6—12.

Úeno, M. (1934) : Acid water lakes in North Shinano. Arch. f. Hydrobiol., **27**, 571—584.

安田郁子(1977) : 志賀高原湖沼群の夏季のプランクトン相, 淡水生物, **20**, 38—43.

山ノ内町教育委員会(1976) : 志賀高原の自然.

吉村信吉(1937) : 湖沼学. 三省堂.