行楽地の湖水・白樺湖の水質と生物群集 第2報 生物群集

日本陸水学会甲信越支部 代表者 小 泉 清 明

THE QUALITY AND BIOTIC COMMUNITY OF THE WATER IN LAKE SHIRAKABA IN A POPULAR PLEASURE RESORT IN THE CENTRAL PLATEAU OF JAPAN II. BIOTIC COMMUNITY

By Kō-Shin-Etsu Branch of Japanese Society of Limnology
(The Chief of the Branch, Kiyooki KOIDSUMI).

Synopsis

- 1) *Aphanizomenon flos-aquae* and *Melosira italica*, and *Keratella cochlearis* and *Trichocera dixon-nuttalli* are the most abundant forms respectively of 26 species of phytoplanktons and of 19 species of zooplanktons found in the water of Lake Shirakaba during the summer of 1969. They occupy about 90~95 % of total number of cells or individuals per unit volume of water. They live most densely in the surface water above 2 m. depth. And *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena* sp. are present as well though the populations are by no means large.
- 2) Plankters peculiar to cold water lakes seemed to predominate during the early years of the inundation. *Holopedium gibberum* was the most abundant. Recently species such as *Vitreoscilla*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Melosira*, *Asterionella*, *Golenkinia*, *Micractinium*, *Dityosphaerium*, *Ciliates*, *Rotifers*, and *Bosmina* have appeared in gradually increasing quantity.
- 3) The plankton chlorophyll is the largest in amount in the upper layer of 0.5-2 m. depth maintaining 21 mg/m³ of water, from which the standing crop of the phytoplanktons is estimated about 1.8 g (dry wt.)/m³. The total quantity of seston is about 5 g/m³ in the same layer, the phytoplanktons constituting about 35% of the entire seston. The photosynthetic activity of the surface water amounts to 16.0 O₂mg/chl. a. mg/hr.
- 4) Lake Shirakaba is much poorer in the plankton crops than lake Suwa which lies not far from the former and is famous for its conspicuous eutrophication.
- 5) The standing crops of floating and Coli-group bacteria and of fungi are very large. The biomass of the floating bacteria is about 0.8-1.5 g (wet wt.)/m³. The velocity of production about 0.6-1.6 g/m³·day, and the decomposition and production attain about to 1.42 mg O₂/l. day respectively. These figures are quite comparable with those of eutrophic lakes and fishponds of Nagano Prefecture where the present lake exists.
- 6) The bottom animals are poor in number, Chironomid larvae being about 300-700 and Tubificids less than 30.
- 7) The benthic communities of the incoming streams of the lake are characterized by the inhabitants of the mountain streams such as *Planaria*, *Asellus*, *Perissopseura*, *Rheotanytarsus*, *Uenoa*, *Simulium* and *Baetis*, and algae such as *Diatoma*, *Homoeothrix*, and *Navicula*.
- 8) Originally riverine fish population composed of cold water endemic species such as *Salvelinus pluvius*, *Oncorhynchus rhodurus* and *Cottus pollux* disappeared soon after impoundment, and the fishes such as *Cyprinus caprio*, *Carassius carassius*, *Pseudorasbora parva* and *Hypomesus olidus* are now flourishing. But they can not live in the deeper water than 3 m. owing to the lack of oxygen.
- 9) It may be judged also from the standpoints of the biological phenomena that the lake is gradually becoming eutrophicated.

7. プランクトン

植物プランクトン (表8): 採集した植物プランクトンを定点、水深別に集計した結果を表8に示す。

出現した種類は細菌 *Vitreoscilla filiformis*, ラン藻 *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae*, ケイ藻 *Melosira italica*, *M. distance*, *Cycl-*

表 8. 植物プランクトン細胞数 (cell $\times 10^3$ /ml) の集計総括表

定 点	水 深 m	細 菌	ラン藻	ケイ藻	緑 藻	計	%
A	0	1.6	16.1	10.3	1.0	29.7	14
	1	3.3	13.9	10.9	0.5	28.5	14
	2	7.8	43.5	15.9	0.3	67.5	33
	3	4.4	10.5	11.4	0.3	26.7	13
	4	3.4	11.4	10.7	0.1	25.7	12
	5	1.6	5.6	4.9	0.5	12.6	6
	6	1.6	2.8	2.9	0.2	7.5	3
	7	2.1	4.1	5.9	0.0	12.1	6
	計 %	25.6 12	108.0 51	72.9 34	2.8 1	210.2 100	100
B	0	2.3	27.2	13.2	4.9	47.6	28
	1	3.6	23.2	10.4	1.3	38.5	19
	2	4.2	34.0	14.4	0.1	52.6	30
	3	7.0	4.7	8.9	0.2	20.7	11
	4	2.3	5.6	9.2	0.0	17.2	9
	計 %	19.5 11	94.7 53	56.0 31	6.4 4	176.6 100	100
C	0	1.0	21.9	11.6	0.1	34.6	17
	1	1.3	24.8	24.8	0.8	51.6	25
	2	3.9	28.7	14.7	0.3	47.6	23
	3	3.4	18.9	15.9	0.4	38.5	19
	4	6.2	4.9	24.9	0.1	36.1	18
	計 %	15.9 8	99.2 47	91.8 44	1.6 0.8	208.4 100	100
D	0	5.2	21.6	7.8	0.5	35.2	12
	1	4.9	40.5	14.0	0.2	59.5	29
	2	1.8	28.8	19.2	1.4	51.3	26
	3	2.9	22.5	21.2	1.6	48.2	24
	計 %	14.8 8	113.4 58	62.3 32	3.7 2	194.2 100	100
種 類 数		1	3	9	10	26	

備考：1969. 8. 30. 14.00～18.00 採集。ペン毛藻の細胞数は 1 ml あたり 100細胞数なれば表から削除した。

otella kützingiana, *Rhizosolenia* sp., *Diatoma vulgare*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Navicula* sp., 緑藻 *Pediastrum duplex*, *Golenkinia radiata*, *Micractinium pusillum*, *Dictyosphaerium* sp., *Coelastrum* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Actinastrum hantzshii*, *Scenedesmus quadricauda*, *Mougeotia* sp., *Staurastrum gracile*, ペン毛藻 *Chlamydomonas* sp., *Euglena* sp., *Trachelomonas* sp. の計26種。

最優占の種類はラン藻の *Aphanizomenon flos-aquae*, 次いで *Melosira italica* で、全藻類中前者は 50～65%,

後者は 30～50%, 両者あわせて 90% の細胞数を占める。(表省略)。細菌の *Vitreoscilla filiformis* も多い。これら 3 種以外の数はきわめて少ないが, *Anabaena* sp. が 300～600 cell/ml ラン藻の *Microcystis aeruginosa* が 100～180 cell/ml の出現は注目に値する。

垂直分布は 4 地点とも深さ 1～2 m の所に全細胞数の約 50% が集中する。水表面はこれより少なく, 3 m 以深はさらに少ない。*Aphanizomenon* と *Melosira* は 1～2 m 層にともに 40～50%, *Vitreoscilla* は 2～3 m 層に 20～30% が集中する。(倉沢秀夫, 落合照雄, 青山莞爾)。

表 9. 動物プランクトン個体数 (n/l) の集計総括表

定 点	水 層 m	甲殻類	輪虫類	原虫類	計	%
A	0	3	526	3	532	13
	0~1	6	1056	0	1062	25
	1~2	33	699	3	735	17
	2~3	42	581	108	731	17
	3~4	36	416	36	488	12
	4~5	39	231	213	484	12
	5~6	2	81	56	139	3
	6~7	2	48	23	73	2
	計 %	163 4	3638 86	442 10	4243 100	100
B	0	36	1122	0	1158	20
	0~1	64	1714	0	1778	31
	1~2	4	568	0	572	10
	2~3	20	732	0	752	13
	3~4	30	732	93	855	15
	4~5	2	282	15	299	5
	5~6	0	289	16	305	5
	計 %	156 3	5439 95	124 2	5719 100	100
C	0	46	834	0	882	29
	0~1	70	898	24	992	32
	1~2	40	696	0	736	24
	2~3	16	259	0	275	9
	3~4	20	164	8	192	6
	計 %	192 6	2851 93	32 1	3075 100	100
D	0	24	264	0	288	12
	0~1	44	798	0	842	35
	1~2	79	582	120	781	32
	2~3	48	454	0	502	21
	計 %	195 8	2098 87	120 5	2413 100	100
種 類 数		4	10	4	18	

備考：1969. 8. 30. 14.00~18.00 採集。

動物プランクトン（表9）：採集した種類は甲殻類 *Nauplius*, *Heliodiaptomus kikuchii*, *Limnoncaea* sp., *Leptodora kindtii*, *Bosmina longirostris*, ワムシ類 *Filinia longiseta*, *Lepadella* sp., *Anuraeopsis fissa*, *Keratella cochlearis*, *Brachionus diversicornis*, *B. calyciflorus*, *Asplanchna priodonta*, *Trichocera dixon-nuttalli*, *T. cylindrica*, *Polyarthra trigla*, 原虫類 *Carchesium polypinum*, *Bursaria* sp., *Holotrichida*, *Arcella vulgaris* の計19種。

個体数は全地点ワムシが圧倒的で全数の90~95%を占める。*Keratella cochlearis* と *Trichocera dixon-nuttalli*

が最も多く、ともに 400~500個体/l を数える。*Polyarthra trigla* が 100~200/l, 他は何れも 100/l 以下。

垂直分布はどの地点も 0~1 m 層が最も多く 25~35%, 0 または 1~2 m 層は 20~30%, 3~4 m と 4~5 m 以深は 10%以下で深さとともに急減する。*Keratella* と *Trichocera* は 0~1 m に 30~50%集まり、下層に向かって漸減し 4 m 以深はきわめて少ない。*Polyarthra* が 0~1 m 層に 40~70%密集するのに対し、*Filinia* は表層に少なく、3~5 m 層に 50~60%が集まる。甲殻類では *Nauplius* が 0~2 m 層に全部集中し、*Heliodiaptomus* はやや深く 1~3 m 層に、*Bosmina* は 4 m 層に集中する。纖毛虫は 3~5 m

層に過半数が分布する（倉沢，落合，青山）。

水温，溶存酸素とプランクトンの垂直分布：水温も DO も夏季停滞期における垂直分布を示し，躍層はともに2～4 m層付近にある。全植物プランクトンの最大密度は2m 層にみられるが，これは水温（約20℃）と DO（約6.5 ppm）の躍層の直上にあたり，優占種の *Aphanizomenon* や *Melosira* がその大部分を占める。浮上種の *Microcystis* や *Anabaena* は表層に，細菌の *Vitreoscilla* は躍層内に，*Fragilaria* は深水層に集まる。

動物プランクトンのワムシの大部分と甲殻類の Nauplius は，植物プランクトンより表面の0～2m 層に全数の45～65%が集中する。躍層の上部には *Heliodiaptomus* が多く，下部（水温13～15℃，DO 2～3 ppm）には繊毛虫や冷水性の *Filinia* 深層性の *Bosmina* がみられる（倉沢，落合，青山）。

プランクトン種類の変遷：湖水出現9年後の1953～55のプランクトン17種のうち *Anabaena* sp., *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum* を除き大部分は普通の湖沼，北方または高山性の貧栄養湖や湿原に普通の種類で，とくに優占種の *Holopedium gibberum* は千島樺太の

湿原に多い。1958～59のケイ藻25種のうち *Melosira varians* 多産した2種の *Asterionella* 以外は普通水域に広く分布する種類であった。1966～69落合らが採集した計22種のうち多産した *Melosira italica*, *M. i. curvata*, *Bosmina longirostris*. 比較的個体数の多い *M. i. varida*, *Asterionella formosa*, *Anabaena* sp. *Microcystis aeruginosa* の7種など富栄養性種類が漸次ふえている。今回の調査では富栄養性ないし汚水性植物プランクトンと目されるものは，*Vitreoscilla*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Melosira*, *Asterionella*, *Golenkinia*, *Micractinium*, *Dictyosphaerium* など23種中8種にのぼり，動物プランクトンではワムシの種類と個体数が圧倒的で，繊毛虫も多く，甲殻類では *Bosmina* が優占して富栄養性ないし汚濁化の傾向がよくあらわれている（倉沢，落合，青山）。

白樺湖と諏訪湖のプランクトンの比較（表10）：白樺湖のプランクトンの種類と密度を，同時期に（1969，8. 27）倉沢，青山らが調査した諏訪湖の結果と比較する（倉沢秀夫，青山莞爾：1970，1. 26 JIBP-PF 諏訪湖研究グループシンポジウム発表）。

表 10. 白樺湖と諏訪湖の植物プランクトン細胞数（cell×10³/ml）と動物プランクトン個体数（n/ml）の比較

水深 m	水 層 m	植物プランクトン			動物プランクトン		
		白 樺 湖	諏 訪 湖	比	白 樺 湖	諏 訪 湖	比
0	0	34.2	75.1	2.2	0.7	23.6	33.5
1	0～1	41.3	99.0	2.4	1.2	30.2	25.9
2	1～2	50.3	177.0	3.5	0.7	21.3	30.2
3	2～3	29.1	104.0	3.6	0.6	23.7	42.0
4	3～4	22.3	77.0	3.4	0.5	4.5	8.9
5	4～5	11.0	30.2	2.8	0.4	1.2	3.0
6	5～6	5.9	47.8	8.1	0.2	0.6	2.7
7	6～7	10.0			0.1		

備考：採集日，白樺湖 8. 30. '69，諏訪湖 8. 27. '69。比は諏訪湖/白樺湖の値。

植物プランクトンでは白樺湖では *Aphanizomenon flos-aquae* と *Melosira italica* が全植物プランクトン細胞数の90%を占めるが，諏訪湖では *Cyclotella* sp. が90%以上を占め上掲両種は存在しない。表面から水深6 mまでの細胞数（ml 当り）の合計の平均は，白樺湖では194, 172，諏訪湖では610, 054 で，白樺湖は諏訪湖の1/3であった。諏訪湖で例年大発生する *Microcystis* は1969の夏は日照不足，低水温などのためほとんど発生せず，*Anabaena* とともに白樺湖の方が1.5～5倍ほど多かった。

動物プランクトンは白樺湖では *Keratella cochlearis*, *Trichocera dixon-nuttalli*, *Polyarthra trigla* などが多

産するが，諏訪湖ではこれらのワムシも産するが，*Ceratium hirundinella* が全個体数の95%以上を占める。動物プランクトンの水深0～6 m 間の個体数の合計平均値（ml 当り）は白樺湖の4, 281に対して諏訪湖は105, 409で，後者は前者の25倍にも達する（表10）（倉沢，落合，青山）。

表 11. 植物プランクトンの基礎生産量

	生 産 量	カロリー	太陽 エネルギー量	エネルギー 効果
P _n	1. 24	0. 44	417	0. 11
R	3. 26	1. 16	Cal/cm ² /日	0. 28
P _g	4. 50O ₂ g/m ² /日	1. 60Cal/日		0. 39%

図 3. クロロフィル量, セストン量, 植物プランクトンの現存量と生産量

図 4. 表面植物プランクトンの光合成作用

光合成作用と植物プランクトンの現存量, 生産量 (表11, 図 3.4): 水中クロロフィル量—水 1 m³ に含まれるクロロフィル量 (図 3—A) は表面はやや少なく 17mg, 深さ 0.5~2m 層が最高で 21mg を示す。2m 以深は次第に減少する (5m層は例外)。この表面水のクロロフィル量は 1 週間前の 8.24, B点で測った 42mg/m³, 同日蓼科湖の 72mg/m³ より著しく少なかった。細胞に含まれるクロロフィル量の割合を西条教授の値 1.2% として計算すると, 植物プランクトンの現存量 (乾量) は, 表面では 1.4g/m³, 0.5~2m 層では 1.8g/m³ となる (図 3—C)。

水中クロロフィル量からみた植物プランクトンの現存量の垂直分布は, 5m 層の異常値を除けば, 細胞数の調査結果と完全に一致する (表 8 参照)。

セストン量と植物プランクトン量—水中のセストン量は表面では 5.4g/m³, 深さとともに減少して 4m では最小の 3.0g となるが, 5m では逆転して 8.2g と急増する (図 3—

C)。セストン中の植物プランクトンの割合は表面では 26% 0.5~2m 層では 35~36% となり, これより深くなると次第に減少する。これらの SS 中の植物プランクトン量の割合はほぼ諏訪湖なみの値で, ともにプランクトン以外の無生セストンがかなり多量に存在することを知る。なお 8.24 測定した B 点表面水のセストン量は 7.4g/m³ で, このうち植物プランクトンの割合は 48% であった (落合)。

植物プランクトンの基礎生産量 (図 3) — 8 月 30 日 0~4 m の各層の水を酸素ビンにとり, 明—暗ビンに分けて採水深度に 24 時間吊して 1 日の生産量を求めた (図 3—D)。この値から生産層である 2.2 m (透明度の 2 倍の深さ) までの生産量を求めると表 11 のようになる。

植物プランクトンの光合成能—表面水を 10~14 時湖の表面で各種光量の自然光にさらして植物プランクトンの光合成能を測った (図 4)。Pmax の値は 16.0 O₂mg/chl. a mg/hr でかなり大きく富栄養型を示す。光合成曲線は強光阻害型である (落合)。

8. 底生生物

湖水の底生動物 (表 12): ベントスの大部分はユスリカ (*Chironomus plumosus*-b, *Calopsectra* sp. J, *Phaenopsectra* sp. A-2, *Procladius* sp., *Spaniotoma akamusi*) の幼虫で, 次に Tubificidae, D₁ に少数の *Polycentropus* sp., D₂ に *Pseudocrangonyx* sp. がみられた。優占種は *Chironomus plumosus* で A, B とその付近以外全地点で採集された。*Spaniotoma akamusi* は底水温の低い深部 (A, B, C) のみで採れたが, この幼虫は底水温が 15°C 前

表 12. 湖水の底生動物（上段個体数，下段生重量，g, 1m² あたり）

定 点	深度m	底水温 ℃	ユスリカ類 幼 虫	イトミミズ 類	その他	計	底 質
A	7.5	11.1	58.7 0.88	0 0		58.7 0.88	落葉の混った泥
B	6.5	10.6	14.7 0.22	14.7 0.04		29.4 0.26	植物繊維の多い泥
C	4.3	15.3	117.4 2.42	29.3 0.15		146.7 2.57	同 上
D	3.0	19.8	14.7 0.15	1.47 0.01	44.0 0.01	29.4 0.16	粗い土粒
D ₁ (栈橋)	0.6	19.4	645.5 0.39	14.7 0.02	44.0	704.2 0.42	風化岩石と植物繊維の混 った泥
D ₂ (栈橋)	2.0	19.1	323.1 2.14	0 0		323.1 2.14	植物繊維の多い泥
D ₃	3.2	19.1	146.7 0.23	0 0		190.7 0.26	粗い土粒
B ₁ (Bの南岸)	0.35	19.0	675.0 0.06	29.4 0.02		704.4 0.08	風化岩石
B ₂ (Bの南岸)	3.0	18.7	557.5 0.96	29.4 0.13		586.9 1.09	風化岩石、植物繊維
B ₃ (Bの北岸)	3.2	17.5	44.0 0.08	14.7 0.03		58.7 0.09	風化岩石と植物繊維の混 った泥
B ₄ (Bの北岸)	2.0	18.8	146.9 0.25	0 0		146.9 0.25	礫石と植物細片

備考：1 地点につき E-B 採泥器 (15×15cm) 3 回採泥；D₁～D₃ は D 付近，B₁～B₄ は B 付近。

後にのぼると、エックマンバジの届かない泥の深層に潜入することが、諏訪湖で確められている（山岸，福原，1969）（山岸宏）。ベントスの底泥 1m² あたりの個体数は非常に少なく，ユスリカ幼虫は概数 300～700（沿岸部）または15～60（深部），イトミミズは30以下で，1966. 7月末小泉ら（諏訪湖浄化に関する研究）が観測した諏訪湖のユスリカ 1500～2800/m²，イトミミズモドキ 500～3500/m² の値とは比較すべくもない。

流出入河川の底生動物（表13）：出現した種類数は St. 1. 3. 4 はともに15～16種，St. 2 はその半分。優占的または亜優占的に個体数の多い種類は St. 1 では *Perissopseura paradoxa* が圧倒的で *Rheotanytarsus* sp., *Uenoa tokunagai*, *Planaria gonocephala*, St. 2 では *Planaria* が圧倒的で *Asellus* sp. が次ぎ，St. 3 では *Simulium* sp., *Eaetis thermicus*, *Tendipes dorsalis*, St. 4 では *Hydropsyche* sp. と *Stenopsyche griseipennis* で，河床の石礫は吐出網糸で顕著にセメントされている。

河川のおおざっぱな清濁指標の一つとして，比較的清流に住む種類の数と汚水に住むそれとの比を較べることがで

き，その値 1 より大きな川は比較的きれい，1 より小さい時は汚れている。その値は表13のように，清冽な湧水の流れである音無川と間屋川は前者に，旅館の下水が混入する岩下川と富栄養の湖水が流れる音無川は後者に属する（井出嘉雄）。

流出入河川の付着藻類（表13）：河床の石礫面 1mm² に付着する藻類の細胞数は St. 1 の 6,000 を除けば他は 30～300 で，相模川（水質汚濁防止京浜地区協議会，1956）160～1,600，荒川（二瀬ダム建設水産科学調査団，1961）2,000～5,000の所が多いのに比較すれば非常に少ない。また河床 100m² 上の藻類の容積は 4 St. を平均すると 3.25 ml となって，日本河川の瀬の平均4.13ml（福島ら，1968）よりかなり少ない。これらの場所の藻類の少ないことは低水温（9℃内外）に関係するものと思われる（川那部ら，1959）。千曲川の藻類数50～300（福島，1957），菅平流れ域夏の平均 1.64ml/100m²（福島ら，1968）も同じ原因と思われる。

付着藻の種類数は全 St. 9～15，その大半70～90%はケイ藻で，個体数もしたがってケイ藻が多い。St. 別では

表 13. 流入河川の底生動物と河床石礫付着藻の種類数と個体数

		種 類 数/m ²				個 体 数/m ²			
動 物	St.	1	2	3	4	1	2	3	4
	毛 翅 目	5	3	3	5	515	95	42	405
	ふ ゆ う 目	1	0	4	3	8	0	214	64
	せ き し 目	5	1	2	0	140	53	80	0
	双 翅 目	3	1	4	4	224	37	813	63
	そ の 他	1	2	2	4	88	369	99	99
	計	15	7	15	16	975	554	1248	631
	清流種：汚水種 比 例	8：7 1.15	4：3 1.33	6：9 0.67	5：11 0.45				
		種 類 数/mm ²				個 体 数/mm ²			
藻 類	St.	1	2	3	4	1	2	3	4
	ラ ン 藻	2	2	1	1	1702	241	2	3
	ケ イ 藻	10	8	14	8	4234	68	109	31
	緑 藻	0	1	0	0	0	15	0	0
	計	12	11	15	9	5936	324	111	34
	容 積 ml	6.0	2.0	4.4	0.6				

備考：St. 1—流入音無川（湖岸から 30m），St. 2—問屋川（70m），St. 3—岩下川（100m），
St. 4—流出音無川（1.5km）。

St. 1 は総体数の60～65%は *Diatoma hiemale*（含、*v. mesodon*）で、26～31%は *Homoeothrix janthina* である。St. 2 は46～62%が *H. j* で *D. h.*, *Oedogonium* sp., *Achnanthes lanceolata* f. *ventricosa* がそれぞれ 6～16%，5～15%，St. 3 は18～32%が *D. h.*, 18～31%が *Navicula menisculus*, 10～22%が *N. rhynchocephala*, St. 4 は56～77%が *Melosira granulata*, 5～19%が *Anabaena* sp. である。最後の両種はプランクターになる種類であるから、湖水中でプランクトンの構成種として繁殖しているものと思われる。

以上のように湖水の流入，流出河川では付着藻の植生が異なることが多く，流出河川の種類が湖水のプランクターから大きな影響をうけることは諏訪湖でその例がよく知られている（福島博）。

9. 微生物

細菌の分布（表14）：全浮遊性細菌数（直接計数法，DC）と好気性有機栄養細菌数（希釈平板法，PC）は，場所による差は小さいが，大腸菌群細菌はF（出島）とB（弁天島）付近に非常に多く，東方水域のDとHには少ない。真菌はI（東南隅）に多く，C，D（出島東方）に少ない。垂直分

布はBでは5 m以深は深さともに DC は増加し PC は減少する。水深の浅いDでは4 mまで特別の変化はない。大腸菌と真菌はBでは底にゆくほど少なく，Dでは水底近くでふえる。

浮遊細菌数は DC，PC とも 1969. 7～8月の長野県下各種湖沼の調査結果に較べると（桜井，林，奥田），富栄養の諏訪湖，涌池，上田市付近の2, 3の養魚池とはほぼ同じ程度であり，貧栄養湖の野尻湖よりは DC で7倍，PC で20倍多い。なお白樺湖の浮遊細菌の biomass は DC 値から約0.8～1.5g/m³（生体），全湖で約1tと計算される。大腸菌群細菌数は1969年8月の諏訪市沿岸の諏訪湖（小泉，桜井，丸山，1967）と同じ程度である（柳並，衣の渡川のような著しい汚濁河川の河口は白樺湖よりはるかに多い）。真菌数は1967の諏訪湖をはるかに上廻る（桜井善雄）。

細菌群集の生産速度（表15）：湖水を入れたびんを深さごとに20～21時間吊して浮遊細菌の増殖速度をはかったところ，Bの水深1～5m 層では，湖水1ml 1日につき240～270万であったが，表層と6.3m 層ではそれぞれ480万，635万と著しく大きな値であった。この原因は DO と PC 値の成層からみて，表層は好気性菌，底層では PC にかからない嫌気性菌の増殖の結果によるものと思われる。

表 14. 細菌の水平垂直分布 (カッコ内は定点)

分 布			全 浮 遊 性 ¹⁾ 細菌 ×10 ⁶ /ml	好 気 性 有 機 ²⁾ 栄 養 細菌 ×10 ³ /ml	大 腸 菌 群 ³⁾ 数 /ml	真 菌 数 ⁴⁾ /ml
水 平	最 多 少 均		4.51(A)	20.2(B)	236(F)	62.7(I)
			3.63(H)	8.0(D)	9.7(D)	6.7(D)
			4.09	12	63	20
垂 直	B	0	4.39	20.2	117	13.3
		1	3.25	13.5	97.0	19.0
		3	3.85	19.6	61.3	13.7
		5	5.47	10.5	23.7	5.7
		6.5	6.22	8.0	30.0	8.7
	D	0	4.21	8.0	9.7	6.7
		1	4.07	10.0	11.7	6.7
		4	4.19	8.6	16.7	9.3

測定方法：1) メンブランフィルターによる直接計数法 (桜井, 用水と廃水, 11, 721, 1969).

2) GPY 培地による希釈平板法, 25°C 5 回 (桜井, 日本水処理生物学会誌, 2, 21, 1967).

3) デソキシコレート培地による希釈平板法 (日本水道協会, 下水道試験法, 1964). 4) ストマイ・ローズベンガル培地による希釈平板法 (桜井, 木曽三川河口資源調査報告, 3, 121, 1967).

表 15. 浮遊細菌群集の生産速度と湖水の生産量, 呼吸量

定 点	水 深 m	水 温 °C	細 菌 の 生 産 速 度 /m ³ ・日		湖 水 の 生 産 量, 呼 吸 量 O ₂ ppm	
			PG ¹⁾ ×10 ⁶ 菌数	同左 ²⁾ 生体 g	R	P _G
B	0	19.7	4.81	1.20	1.22	1.72
	1	19.5	2.75	0.69	1.73	1.77
	3	17.5	2.43	0.61	0.56	0.07
	5	12.9	2.68	0.67	—	—
	6.3	11.2	6.35	1.59	—	—
D	0	20.6	4.74	1.19	2.12	1.53
	1	20.5	4.65	1.16	1.74	1.63
	4	15.8	2.82	0.71	0.96	0

備考：水温は測定の最初と最後の平均, 1) 測定開始時の現存量×24/平均世代時間,

2) 1g=4×10¹² 菌数として計算。細菌の生産速度 (桜井, IBP-PF 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究, 1, 93, 1969 参照)。

浮遊細菌の生産速度は季節的変動が激しいので (例えば桜井らの 1969 諏訪湖の通年調査結果), 他の水域と単純には比較できないが, ほぼ同じ時期に長野県下の種々の型の湖沼について測定した第 1 報表 5 の結果と対照すると, 白樺湖の値は 2.4~6.4・10⁶/m³・日または 0.6~1.6g/m³・日, 全湖では 0.85 t/日 (生体) で, 富栄養湖や養魚池の値に匹敵し, 貧栄養の野尻湖や真田町の小湧泉に較べれば, それぞれ 3.4~9, 46~120 倍に達する (桜井)。

湖水の生産量と分解量 (表 15) : 湖水を入れた明暗びん

を各水深に吊し, DO の消長によって湖水の生産量と分解量をはかった。B と D の O₂, 1 m 層の水 1 l が暗びん中で 1 日に消費する O₂ すなわち分解量は平均 1.42mgO₂/l で桜井らが同時期に諏訪湖や涌池で得た値に近く, 貧栄養の野尻湖, 湧泉の約 10 倍に達する。一方総生産は B, D で, 0~1m 層平均値 1.66mgO₂/l・日あり, 同時期の諏訪湖に近く, 野尻湖の 40 倍強にあたった (第 1 報表 5 参照) (桜井)。

10. 魚 類

放流の歴史：湖水造成以前の音無川にはアマゴ（朱点）が体測に散在し、地元ではヤマメと呼ぶが実はアマゴ、*Oncorhynchus rhodurus*）、イワナ、カジカが生息していた。湛水後一時ヤマメとイワナはふえたがその後減少したので、1951以後はニジマス卵5万粒とコイ、フナを放流した。1954排水口が決潰して湖が乾涸し、再湛水後は水が濁ってマスの生育が悪くなったので、1960以後はコイを2〜3.5万尾放流した。この放流は採算の都合で1966中止した。ワカサギ卵は1960から毎年2,000万粒をふ化放流しているが、成績よく、釣り、四ツ手、冬の穴釣りが盛況を呈している。1967年はヘラブナ（ゲンゴロウブナ）親魚10万円分を放流した。現在本湖に最も広く最も多く生息するのはモツゴ（*Pseudorasbora parva*）である。本種は比較的汚染した水域でもよく生息する。

白樺湖では以上の如く、イワナ→アマゴ→ニジマス→コイ、ワカサギ→ヘラブナ→モツゴの順序で、繁殖と放流が繰返されており、水温の変化がさほどないのに、魚種がこのような遷移するのは水質の悪化に因るものと思われる（中村一雄、白石芳一）。

採捕魚の体長：8.30〜31刺網でアマゴ1（体長22.5cm）、フナ10（4.9〜16.7）、ワカサギ10（6.9〜7.7）、モツゴ31（4.8〜6.8）を得た。この頃土地改良区ではヘラブナ5（6.4〜13.8）、ギンブナ5（7.0〜13.5）を釣りあげた（白石、山岸）。

魚の垂直分布と水質（図5）：垂直刺網で捕獲したアマゴ1、ワカサギ8、モツゴ3、フナ1、計13尾は水深3m以深には全く生息せず、それより表層とくに2m層に最も多い。同時に測定した水温とDOの分布に対照すると、水温は2〜4mの深さに躍層がみられるが、DOは2〜3mの層で急減し、4mでほとんど0になるので、関係はDOの方が密接である。このため魚族の生息空間がごく表層に限られて、増殖上非常に不利な状態にある（白石）。

図5. 水温、溶存酸素と魚の垂直分布

増殖上の問題点と対策：湛水当初多かったイワナ、ニジマスの冷水魚が、冷水域であるにもかかわらずフナ、モツゴを優占種として遷移したこと、3〜4mより下層はDO少なく魚族の生息に耐えないことは、湖の汚濁化に左右された結果である。したがってさしあたっての対応策は耐富栄養性魚種（ワカサギ、ヘラブナなど）の増殖に力をいれることであるが、根本的には水質の浄化を推進した上で、比較的低温に耐える温水魚と、高温に耐える冷水魚種を目標として増殖する。しかしこれには常に湖の理化学的生物学的調査結果に見合って、魚種とその数量を決定、下の池と組合わせて養魚形態を定めるべきである（白石、中村）。

11. 考 察

第1報では白樺湖の理学的な水質は湛水前の湿原植物の堆積に由来する腐植底泥からの栄養塩の溶出と、底泥の浮上、ならびに行楽観光活動による湖岸からの汚下水の流入増加によって富栄養化している事実を報告したが、この富栄養化は生物群集の生産にはどのように反映しているか？

1955以前の白樺湖に出現したプランクトンは動物植物とも北方あるいは高山性の種類が多かった。*Holopedium* が優占種であったことは湖水が冷水性貧栄養湖であることを単的に物語る。しかし昔から *Anabaena* や *Microcystis* が少数ながらも出現した。今回の調査では *Vitreoscilla*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Melosira*, *Asterionella* その他富栄養湖に普通に出現する種類は23種中8種のほり、その密度も大きい。動物プランクトンではワムシの種類と個体数が圧倒的で繊毛虫も多いし、甲殻類では *Bosmina* が多い。

植物プランクトンを含んだ白樺湖の表面水の光合成能はかなり大きく富栄養型を示す。一般浮遊細菌、大腸菌群細菌、真菌など微生物の現存量は諏訪湖その他の富栄養湖と同じ程度かまたはこれらを上廻る。浮遊細菌の生産量や明暗びんによる生産、分解の量も県下の富栄養湖や養魚池に匹敵する。湖から流下する音無川の汚水性昆虫の種類数は清流種の数を上廻る。

湛水当初多かったイワナやニジマスの冷水魚は間もなく姿を消し、フナ、モツゴなどの富栄養耐性魚が増加したこと、湖の3〜4m以深にはDO不足のため魚族の生息をみない。

これらの諸点からすると、白樺湖の生物学的水質はその理化学的水質と同様、貧栄養湖の域を脱して漸次富栄養湖に向っていることを物語る。しかしその富栄養性の程度は、細菌の場合とはともかくとして、少なくともプランクトン性生物においては諏訪湖と同じレベルにありとは断ぜられない。この年1969年は諏訪湖の *Microcystis* の生産は例年になく貧弱であったにもかかわらず、その植物プランクトン

の現存量は白樺湖の3倍、動物プランクトンにいたっては25倍に達した。栄養塩アンモニアは白樺湖は諏訪湖より多量に存在したが、プランクトン生産の少なかったのは低水温に主因があるものと考えられる(小泉)。

12. 摘 要

水質の理化学的分析と平行して行なった生物群集の調査成績は次のようである。

1. 出現した植物プランクトンの種類数は26。優占種は *Aphanizomenon flos-aquae* 次いで *Melosira italica* で、両者で全植物プランクトン細胞数の95%を占める。*Microcystis aeruginosa* と *Anabaena* sp. も少数ながら出現する。

2. 動物プランクトンは計19種・ワムシが全個体数の90%を占め、*Keratella cochlearis* と *Trichocera dixon-nuttalli* が優占種。

3. 植物プランクトンは水深2m付近、動物プランクトンは0~2m層に最も密に分布する。

4. 1950年以前のプランクトンは北方または高山性冷水種が多く *Holopedium* が代表種であったが、最近では *Vitreoscilla*, *Microcystis*, *Micractinium*, *Dictyosphaerium*, ワムシ, 纖毛虫, *Bosmina* 等富栄養湖に多い種類が目立つ。

5. 1969年夏の白樺湖のプランクトン数を同時期の諏訪湖に比較すると、植物プランクトンは諏訪湖の1/3、動物プランクトンは1/25程度である。

6. 湖水のクロロフィルの量は水深0.5~2m層が最高で21mg/m³、これから植物プランクトン現存量(乾量)は1.8g/m³と計算される。

7. 湖水のセストン量は同上の水層で約5g/m³、このうち植物プランクトンの割合は35%程度である。

8. 湖の表面水に含まれる植物プランクトンの光合成能は16.0O₂mg/chl. a, mg/hrで富栄養型を示す。

9. 湖水の底生動物は底泥1m²あたりユスリカ幼虫が沿岸部で300~700、沖部で15~60、イトミミズは30以下である。優占種は *Chironomus plumosus*。

10. 流入河川の底生動物は *Planaria*, *Asellus*, *Perisoneura*, *Rheotanytarsus*, *Uenoa*, *Simulium*, *Paetis* などの清流種である。

11. 流入河川の石礫付着藻類は30~300cell/mm²で日本河川の平均よりかなり少ない。70~90%はケイ藻の *Diatoma*, *Homoeothrix*, *Navicula* などである。

12. 一般浮遊性細菌、大腸菌群細菌、真菌の現存量は大きく、諏訪湖その他長野県下の富栄養湖沼または養魚池と同じレベルかまたはそれを上廻る。

13. 浮遊細菌のbiomassは0.8~1.5g/m³(生体)、生産速度は0.6~1.6g/m³・日、表層水の分解量は1.42mgO₂/l・日、総生産量は1.66mgO₂/l・日程度で何れも富栄養湖なみの値である。

14. 白樺湖の魚類は湛水以来イワナ、アマゴ、カジカ→ニジマス、コイ、ワカサギ→ヘラブナ→モツゴの順序で、繁殖と放流を繰返す。

15. 現在、白樺湖では魚類は3m以深には生息しない。DOの欠亡に原因がある。

16. 以上各種の生物現象からみて白樺湖は冷水性貧栄養湖から漸次富栄養化する道程にあるものと結論される(小泉)。

文 献

福島博：千曲川水系の藻類の定量的研究。八ヶ岳硫黄鉱山開発に伴う千曲川水系の水質変化の研究，2，53~60. 1957.

同：揖斐川，長良川，木曽川の付着藻類量。KST報告，4，105~110. 1967.

同，小林艶子ほか：菅平流水域のケイ藻類。東教大菅平実験所報告，2，1~66. 1968.

二瀬ダム建設水産科学調査団：二瀬ダム建設の荒川漁業への影響と今後の開発に関する調査報告，1~369. 1961. 川那部浩哉，森主一，水野信彦：アユの生長と藻類量そのほか。生理生態，8，117~23. 1959.

小泉清明ほか：諏訪湖の大型底生動物の分布と現存量。諏訪湖浄化に関する研究，95~100. 1968.

小泉清明，桜井善雄，丸山泰男：諏訪湖の都市沿岸部の汚濁と生物群集の構造，分布ならびに生産に関する研究。IBP-PF 陸水生物ならびに陸水生物群集の保護の方法に関する研究，2，19，3，18. 1968，69.

桜井善雄：水中の一般細菌数検定法に関する2,3の検討。日本水処理生物学会誌，2，21. 1967.

同：貯留した長良川河水中における微生物の変化。KST報告，3，121. 167.

同：浮遊性細菌生産量の測定。JIBP-PF 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究報告，1，93. 1969.

同：水中浮遊性細菌の全数測定法。用水と廃水，11，721. 1969.

同，奥田稔，林文俊：諏訪湖における浮遊細菌の現存量，生産速度に関する研究。未発表 1969.

同，林文俊，奥田稔：長野県下湖沼の水質と微生物の現存量および生産速度。未発表，1969.

山岸宏，福原晴夫：諏訪湖のユスリ蚊の生態Ⅱ．2種の大型ユスリ蚊の羽化期と幼虫個体数の消長について。動雑，68. 1969.

(著者：日本陸水学会甲信越支部（代表者，小泉清明）。支部事務所，信州大学繊維学部，長野県上田市）
(Kō-Shin-Etsu Branch of Japanese Society of Limnology. Office : Faculty of Textile Science
and Technology, Shinshu University, Ueda, Nagano Pref., Japan).

図 書 紹 介

最近陸水学会あてに寄贈された下記の図書について，その内容を簡単に紹介する。

History of Hydrology, by Asit K. Biswas,
1970. North-Holland

著者の Asit K. Biswas は Canada, Ottawa の Department of Energy, Mines and Resources に勤務する水資源関係の研究者であり，この本を著すに際して米国の Ray K. Linsley, Ven T. Chow, オランダの A. Volker など著名な水文学者，水理学者の援助を受けている。

この本は1957年発刊の Hunter Rouse, Simon Ince 著 History of Hydraulics とあわせて水科学に関する標準的な歴史書となるであろう。

内容は13章からなり，ナイル川，メソポタミヤ地方の水利用から始まって19世紀末までの hydrology の歴史を多くの図，写真を利用し 300余頁にまとめてあり，hydrology の専門的知識のない人にも興味深く読まれるであろう。

エジプト，メソポタミヤ，インダス川の水利用につづいて，Plato, Aristotle などのヘレネ時代の哲学者や Frontinus, Seneca, Vitruvius, Hero などのローマ時代の哲学者兼科学者の hydrology に対する寄与が述べられている。

さらに Leonardo da Vinci, Bernard Palissy, Benedetto Castelli の河川の起源や流量に対する考え方を説明

し，また観測，実験の実証手法で17世紀に hydrology の新時代を開いた Pierre Perrault, Edm̄ Mariotte, Edmond Halley の功績を紹介している。

さらに18世紀以後の hydrology の発達に対して hydrologic cycle のさまざまな概念や水文諸要素の測定法（とくに雨量計の歴史について一章があてられている）を通して貢献した英，伊，仏などの諸学派の業績が示されている。

また Smith, Darcy, Dupuit, Thiem, Forchheimer などの地下水文学への寄与，Bernoulli, Venturi, Chezy, Manning などの流体力学，河川水理学への貢献，Mulvoney の流域に対する計画洪水量の概念の導入など，18世紀から19世紀にかけて活躍し現代の教科書にも名前が載っている有名な Hydrologist の活動が歴史的に説明されている。

全体として個人的な業績を骨組みにして歴史が述べられており，他分野をふくめた科学史の中での hydrology の歴史の位置づけは充分でないように思われる。

しかし断片的な話ではあるが，ギリシャ時代にすでに水の規制法が定められ，水を汚したものはその損害を補償する義務があり，Plato がその法に賛成していたこと，あるいは Galileo が木星の運動の方が川の流れより学び易い（質点力学と流体力学の対比）と語っていたことなど，普通の text では見かけられない興味深い逸話を諸所で楽しむことが出来る。
(奥田節夫)