湯原湖の陸水学的研究 (第1報)

樋 口 昌 三

Limnological studies of the reservoir, Lake Yubara-ko,
Okayama prefecture (I)
by Masami HIGUTI

1 緒 言

湯原湖は岡山県真庭郡湯原町に堰堤を築いて、旭川をせきとめ、上流町村を水没し、発電ダムとして 1955 年 3 月に水をたたえて出発した新しい人造湖である。湖岸線の長さ 50 km, 満水位の深さ 60 m (最深部) で, 有効貯水量は 86,000,000m³ である。筆者は 1958 年 9 月より水温とプランクトンとの遷移を調べ, 1959 年 8 月, 化学成分, 溶存 O₂ 量,

pH およびプランクトンの鉛直分布を調べた。この研究は現在なお続行中であるが, 今までに得た結果をここに報告する。

常時観測ならびに採集用のステーションは, 堰堤より 50m 上流の湖の中央に設置した (発電用の水は堰堤より取らず, 山一つへだてた別の取水口よりとりつており従つて取水による湖水のかくらの影響はない)。

Fig. 1 Sketch map of reservoir, Lake Yubara-ko,
Okayama prefecture.

(● The usual sampling station.)

本研究にあたり、プランクトンの同定について指導せられた京都大学大津臨湖実験所根来健一郎博士、および有益な知見と研究上の便宜とをあたえられた関西大学文学部杉原弘人博士に対し深く感謝致します。

2 夏季における水質

1958年8月前記常時研究用ステーションで、鉛直的に採水して化学成分の分析を行い、また、水温、pH、溶存 O_2 量の鉛直分布の測定を常時研究用のステーションを含む堰堤に平行な横断面で、右岸から50mごとに五つのステーション(St.1-St.5)を設定して行つた。pHは採水時にB.T.Bによる比色で、溶存 O_2 量はWINKLER法で測定した。化学成分はCl、 SiO_2 、Fe、アルカリ度、Ca、 NO_3-N 、 NH_4-N 、 PO_4-P 、 $KMnO_4$ 消費量を次の方法で行つた。ClはMOHRの銀滴定法、 SiO_2 はDIÉNERT-WANDENBULCKE法で、Feは共存することのある Fe^{++} を HNO_3 および $KMnO_4$ により Fe^{+++} としてロダミンカリによる比色法で、アルカリ度はメチルオレンジアルカリ度を、Caはアルカリ度より算出、 NO_3-N はBr水で共存する NO_2 を NO_3 に酸化しG.R.試薬(硝酸用)による比色で、 NH_4-N はNESSLER試薬による比色、 PO_4-P はBRIGGS氏法、 $KMnO_4$ 消費量は常法により行つた。

水温、pH、溶存 O_2 量およびその飽和度は図2に、化学成分の分析の結果は表1に示

Fig. 2 The vertical distribution of water temperature, pH and dissolved oxygen content in the reservoir, Lake Yubara-ko in summer (Aug. 5, 1959).

してある。

水温の状態をみると、表層が $28.5^{\circ}\sim 29.0^{\circ}\text{C}$ で相当高く、10m 層が $17.0^{\circ}\sim 20.9^{\circ}\text{C}$ 、で 0~10m 間の水温傾度はかなり大である。しかし、20m 層で $10.4^{\circ}\sim 11.9^{\circ}\text{C}$ 、30m 層で $8.6^{\circ}\sim 9.1^{\circ}\text{C}$ 、40m で 7.6°C 、45m で 7.1°C と、10m より下層の水温は低い。この状態は、河川堰止湖のような、停滞不完全な湖の水温成層に普通に見る状態である。

pH の分布は表面で 7.2、10m で 6.0、20m で 6.2、30m で 6.2、40m で 6.0 となり成層がみられる。水素イオン濃度が表層で小、変水層で大、それから少し小となり、底層で又大となっており、一般の湖沼と同じ形態である。左岸 10m 層に 6.2 という不調和があるが理由不明である。

溶存 O_2 量は表面で $8.5\sim 10.0\text{mg/l}$ で飽和度は 109.1~127.6% の過飽和の状態である、10m 層で $5.2\sim 6.4\text{mg/l}$ で飽和度 55.1~65.8% で 20m 層で、 $5.6\sim 8.8\text{mg/l}$ で飽和度 50.1~81.5% である、30m 層で $8.6\sim 10.2\text{mg/l}$ で飽和度 72.4~88.3% である、40m 層で 8.2mg/l で飽和度 68.4%、45m 層で 6.4mg/l で飽和度 52.7% であり、溶存している O_2 の量は 10m 層が一番少ないが全般的にみて $5.2\sim 10.2\text{mg/l}$ を含み底層までよく溶存している。10m 層の O_2 量の少ないのは水素イオン濃度の高いのと共に他の層とちがった性質を示している。

Tab. 1 The water quality of Lake Yubara-ko in summer (Aug. 5, 1959)

Depth m	W. T.	pH	O_2	SiO_2	Cl	Fe	M. O. alkali- nity	Ca	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	KMnO_4 Consump- tion
0	28.5	7.2	8.60 (109.1%)	5.0	6.45	0.006	16.4	6.6	0.02	0.03	0.005	3.99
10	17.0	6.0	6.40 (65.8%)	4.0	7.42	0.020	10.9	4.4	0.01	0.03	0.005	7.41
20	11.9	6.2	8.80 (81.4%)	4.0	8.70	0.006	15.0	6.0	0.01	0.02	0.006	3.71
30	9.0	6.2	9.20 (79.2%)	5.0	7.42	0.008	13.7	5.5	0.01	0.01	0.005	3.99
40	7.6	6.0	8.20 (68.4%)	3.0	7.42	0.012	13.7	5.5	0.01	0.03	0.005	5.71
45	7.1		6.40 (52.7%)									
mean	—	—	7.93	4.2	7.48	0.010	13.9	5.6	0.01	0.02	0.005	4.97

化学成分の表 1 中の量は W. T. (水温), pH 以外は mg/l である。 SiO_2 は $3.0\sim 5.0\text{mg/l}$ で 40m 層が少なく、表層、30m 層に多い。平均 4.2mg/l である。Cl は $6.45\sim 8.70\text{mg/l}$ で 20m 層が多く表層が少ない。平均 7.48mg/l である。Fe は $0.006\sim 0.02\text{mg/l}$ で 10m 層が 0.02mg/l で多いが理由は不明である、40m 層がこれについている、平均 0.010mg/l である。メチルオレンジアルカリ度は少なく $10.9\sim 16.4\text{mg/l}$ で表層が多く

20 m 層がこれにつぎ 10 m 層が一番少ない, 平均 13.9 mg/l である. Ca はアルカリ度と同じで 4.4~6.6 mg/l で表層に多く, 20 m 層がこれにつぎ 10 m 層が一番少ない. 平均 5.6 mg/l である. $\text{NO}_3\text{-N}$ は 0.01~0.02 mg/l で表層に多い, 平均 0.01 mg/l である. $\text{NH}_4\text{-N}$ は 0.01~0.03 mg/l で表層, 10 m 層 40 m 層, が多い, 平均 0.02 mg/l である. $\text{PO}_4\text{-P}$ は 0.005~0.006 mg/l であり, 全般に非常に少ない, 平均 0.005 mg/l である. KMnO_4 消費量は 3.71~7.41 mg/l である. 10 m 層で 7.41 mg/l で, これについて 40 m 層で 5.71 mg/l であり, この二つの層が多い, 20 m 層で一番少ない, 平均 4.97 mg/l である. 10 m 層, 40 m には Fe 含量が多く, この中の Fe^{++} が KMnO_4 を消費したのではないと思われる.

以上のように化学成分にも成層が見られる, 10 m 層は Fe 量が多く, 溶存 O_2 量が少なく, アルカリ度が低く, KMnO_4 の消費量が他の 2 倍ぐらいあり特異な層であり, この層にプランクトン量も最も多い. 湖水の化学成分からみて N, P の栄養塩類の量が少なく湖沼の初期的段階である栄養のとぼしい貧栄養湖とみなすことができる.

3 プ ラ ン ク ト ン

(1) プランクトンの夏季における鉛直分布

前記の常時観測ならびに採集用のステーションで, 1959年8月に表面から 10 m おきに 40 m まで採水し, 水深が 45 m なので 40 m から 5 m おいて 45 m の採水を行い, ミュラーガーゼ No. 25 でろ過したネットプランクトンについて計数法により定量を行った. プランクトンの種類は植物性 6 動物性 15 の 21 種である.

植物性プランクトンは *Eudorina elegans*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Peridinium willei*, *Ceratium hirundinella*, *Asterionella formosa*, *Melosira granulata* であり, 動物性プランクトンは *Arcella vulgaris*, *Diffugia corona*, *Ploesoma truncatum*, *Pedalia mira*, *Polyarthra trigla*, *Trichocerca cylindrica*, *Brachionus quadridentatus*, *Cyclops serrulatus*, Nauplius (Copepoda larva), *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Bosminopsis deitersi*, *Moina rectirostris*, *Alona quadrangularis* である.

定量の結果は図 3 に LOHMANN の球曲線図法によつて示す. 図中の数字は 1 l 中の個体数をあらわす. 各層の 1 l 中の個体数は表面で 86, 10 m 層で 1006, 20 m 層で 184, 30 m 層で 71, 40 m 層で 58, 45 m 層で 41 で 10 m 層がもつとも多い, 表層が少なく 10 m 層で多く, それより深くなるにつれて漸減している. 湖水が夏季停滞期にあり, 水温その他の要因がかなり大きい変化をするのが 10 m であり, プランクトンの量分布もこれが支配を受けているように見える. プランクトンの種類および量, 特に植物性プランクトンの種数および量との貧弱なことがめだち, これは湛水後日なお浅い人工湖の特性をよく物語っている.

Fig. 3 The vertical distribution of net-plankton in the reservoir Lake Yubara-ko in summer illustrated by LOHMANN's spherical curve method.

次に主要なプランクトンの鉛直分布についてのべる。

- Eudorina elegans* : 表層に分布し特に 10 m 層に多い。
- Peridinium willei* : 表層に分布し前種と同じく 10 m 層に多い。
- Ceratium hirundinella* : いずれの層でも優占種であり, 10 m 層が多く 832/l を示す。
20 m 層から急激に減少するが底層まで分布している。
- Melosira granulata* : 20 m 層が多く, 30, 40 m 層では採集されず, 底層で僅か採集された。
- Diffugia corona* : 全層から採集され 10 m, 20 m 層が多い。
- Ploesoma truncatum* : 前種と同じく全層より採集され動物性プランクトン中最も旺盛な繁殖を示し 10 m, 層が多く 20 m 層がこれについている。
- Pedalia mira* : 表層に多く分布し, 30 m 以下からは採集されない。
- Diaphanosoma brachyurum* : 表層のみに分布している。
- Bosmina longirostris* : 遷移調査によると冬季は優占種であつたが, 本期は個体数は少ない, 30 m 層まで分布している。
- Bosminopsis deitersi* : 個体数少なく 30 m 層を除いて他のすべての層に分布する。
その他動物性プランクトンの浮游が表層および変水層に見られる。
本調査は昼間の採集であるから昼夜移動をする動物性プランクトンについては夜間又は薄明時には分布相を異にすることが当然考えられる。

(2) プランクトンの年間の遷移

1958 年 9 月より 1959 年 8 月まで毎月 1 回前記ステーションでミュラーガーゼ No. 25 のネットにより湖底より鉛直採集したネットプランクトンについて遷移の調査を行つた。この 1 年間に出現したプランクトンは植物性 17, 動物性 24 の計 41 種である。

○植物性プランクトン

Eudorina elegans, *Gonium pectrale*, *Polyedriopsis spinulosa*, *Dictyosphaerum pulchellum*, *Tetraedron* sp., *Staurastrum limneticum*, *Euastrum obesum*, *Dinobryon cylindricum*, *Synura uwelli*, *Mallomonas fastigata*, *Peridinium willei*, *Ceratium hirundinella*, *Euglena oxyuris*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Melosira granulata*, *Synedra* sp.

○動物性プランクトン

Arcella vulgaris, *Diffugia oblonga*, *Diffugia corona*, *Carchesium polypinum*, *Raphidiophrys pallida*, *Pedalia mira*, *Ploesoma truncatum*, *Keratella cochlearis*, *Trichocerca cylindrica*, *Brachionus quadridentatus*, *Conochilus unicornis*, *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta stylata*, *Polyarthra trigla*, *Cyclops serrulatus*, *Nauplius* (Copepoda larva), *Diaphanosoma brachyurum*, *Moina rectirostris*, *Daphnia longispina*, *Daphnia* sp., *Bosmina longirostris*, *Bosminopsis deitersi*, *Alona quadrangularis*,

Table 2. The annual succession of net-plankton in Lake Yubara-ko during the period from Sept. 1958 to Aug. 1959

Plankton	Date											
	23/IX	24/X	30/XI	30/XII	25/I	22/II	27/III	29/IV	31/V	28/VI	19/VII	5/VIII
<i>Eudorina elegans</i>	1.5%	%	2.6%	6.2%	3.6%	20.0%	%	1.3%	3.0%	1.4%	15.6%	5.5%
<i>Gonium pectrale</i>	1.5	0.5										
<i>Polyedriopsis spinulosa</i>												
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>												
<i>Tetradron</i> sp.						3.3		0.5				0.2
<i>Euglena oxyuris</i>												
<i>Dinabryon cylindricum</i>	1.5											
<i>Synura uella</i>		0.5	1.4									
<i>Mallomonas fastigata</i>												
<i>Peridinium willeyi</i>								2.8	0.1	3.1		0.1
<i>Ceratium hirundinella</i>									4.4	18.8		42.7
<i>Asterionella formosa</i>	6.0	0.5			6.8			12.5	4.6	2.0	2.8	0.1
<i>Tabellaria fenestrata</i>		2.7	12.1	4.1	10.4		13.6	4.1	1.6			
<i>Melosira granulata</i>		10.9	8.1	15.2	15.7	3.3	6.1	1.6	1.0	1.8	6.9	0.1
<i>Synedra</i> sp.		22.4	1.4	1.6	0.9	1.7				0.4	1.6	
<i>Staurastrum limneticum</i>	1.5	0.5						0.1				
<i>Euastrum obesum</i>												
<i>Diffugia oblonga</i>		6.6	1.4									
<i>Diffugia corona</i>	26.9	9.8	1.4	1.6	0.9		9.1				4.6	28.4
<i>Arcella vulgaris</i>												0.1
<i>Carchesium polypinum</i>									1.0			

Plakton	23/IX	24/X	30/XI	30/XII	25/I	22/II	27/III	29/IV	31/V	28/VI	19/VII	5/VIII
<i>Raphidiophrys pallida</i>			1.4									
<i>Ploesoma truncatum</i>	8.9	8.7	13.4				4.8	57.9	9.3	24.6	4.6	5.2
<i>Pedalia mira</i>	3.0					1.7					2.8	2.9
<i>Keratella cochlearis</i>		1.6	4.1	4.6	6.3	1.7			21.6	5.1	0.5	0.1
<i>Trichocerca cylindrica</i>												1.3
<i>Brachionus quadridentatus</i>												0.5
<i>Conochilus unicornis</i>					0.5		7.6	2.3		3.6		
<i>Asplanchna priodonta</i>			2.7	3.1	3.6		19.7	0.8	11.7	0.2		
<i>Synchaeta stylata</i>					0.5	25.0	3.4					
<i>Polyarthra trigla</i>	16.3	1.6	1.4	1.6		6.6	12.1	1.8	14.3	1.0	2.3	3.0
<i>Cyclops serrulatus</i>			2.7			1.7	1.5	2.3	0.1	0.6	2.3	0.1
<i>Nauplius</i>	4.5	2.7	8.1	14.0	7.2			0.5	1.1	2.0		1.6
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>		0.5								7.5		2.2
<i>Moina rectirostris</i>	10.5	7.7	2.7						2.1	3.7	8.9	2.2
<i>Daphnia longispina</i>	1.5				0.9						9.6	0.2
<i>Daphnia</i> sp.									0.3		3.2	
<i>Bosmina longirostris</i>	3.6	13.1	23.0	30.8	41.8	1.7	16.7	3.8	12.1	4.0	7.3	0.5
<i>Bosminopsis deitersi</i>	13.4	8.7						0.3	10.9	33.6	4.1	0.6
<i>Alona quadrangularis</i>			1.4	3.1					0.1		0.9	0.1
<i>Cypridopsis uenoi</i>		0.5							0.1			
Eggs		0.5	5.3	7.8	0.9	33.3	8.8	4.1	5.9		3.2	2.3

Cypridopsis uenoi.

1年間の遷移をみると表2のようである。参考のために年間の水温の鉛直分布の図(Fig 4)をつける。遷移調査の方法は前述の採集法により採集したプランクトンを random sampling により各種の個体数を計数して百分比を求めた。従つて表中の数字は%を示す。

Fig. 4 The vertical distribution of water temperature in Lake Yubara-ko during the period from Sept. 1958 to Aug. 1959.

種類および量共に夏季に多く冬季に少ないが、各月の状態を見ると次のようである。

9月は14種で *Diptlugia corona* が優占種であり、*Polyarthra trigla* がこれについている。*Dinobryon cylindricum*, *Gonium pectrale* はこの月に出現したのみで、その後は全く出現しなかった。

10月は18種で8月について多種である。優占は *Synedra* sp. で *Bosmina longirostris* がこれについている。*Polyedriopsis spinulosa* および *Mallomonas fastigata* はこの月にあらわれて以後出現しなかった。*Staurastrum limneticum* は9月について出現し以後出現しなかった。

11月は10月と同じく19種で *Bosmina longirostris* が優占種である。*Ploesoma truncatum* がこれについている。*Synura uvella* がはじめて出現し以後出現しない。*Asplanchna priodonta*, *Tabellaria fenestrata* が出現し以後多くなる。

12月は種類数が少なく12種であり *Bosmina longirostris* が優占しており、*Melosira graulata* がこれについている。

1月は13種で11月、12月と同じく *Bosmina longirostris* が優占種であり、*Melosira granulata* がこれについている。*Synchaeta stylata* がはじめて出現し冬季間個体数が多い。*Conochilus unicornis* が出現し以後つづいて出現する。

2月は10種で3月について少ない、この月は個体数は卵が一番多い。優占種は1月に出現した *Synchaeta stylata* である。*Eudorina elegas* がこれについている。

3月 は 9種 で種類数が最も少ない。 *Asplanchna priodonta* が優占で *Bosmina longirostris* がこれについている。

4月 は15種 で3月に比べてふえて来る。優占種は *Ploesoma truncatum* で *Asterionella formosa* がこれについている。 *Peridinium willei* が新しく出現し 4, 5, 6月とつづく。

5月 は18種 でだんだん種類数が多くなって来る。 *Keratella cochlearis* が優占で *Polyarthra trigla* がこれについている。 *Euastrum obesum* が新しく出現した。

6月 は5月と同じく18種 で *Bosminopsis deitersi* が優占種で、 *Ploesoma truncatum* がこれについている。 *Ceratium hirundinella* が今月からふえて来た。

7月 は17種 で *Ceratium hirundinella* が優占種で、 *Eudorina elegans* がこれにつぐ。 *Pedalia mira* が多くなって来る。

8月 は22種 で年間を通じ種類数をもつとも多い、 *Ceratium hirundinella* が優占であり *Diffugia corona* がこれについている。

優占種を月別にみると次のように9種であり、植物性2、動物性7である。

9月 *Diffugia corona*

10月 *Synedra* sp.

11, 12, 1月 *Bosmina longirostris*

2月 *Synchaeta stylata*

3月 *Asplanchna priodonta*

4月 *Ploesoma truncatum*

5月 *Keratella cochlearis*

6月 *Bosminopsis deitersi*

7, 8月 *Ceratium hirundinella*

季節との関係をみると次のようである。

秋季主に出現したもの

Staurastrum limneticum, *Diffugia oblonga*

冬季から春季にかけて主に出現したもの

Tabellaria fenestrata, *Conochilus unicornis*, *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta stylata*

夏季主に出現したもの

Ceratium hirundinella, *Diaphanosoma brachyurum*

年間を通じて出現したもの

Eudorina elegans, *Asterionella formosa*, *Melosira granulata*, *Polyarthra trigla*, *Bosmina longirostris*

以上年間におけるプランクトンの遷移の概略である。

4 摘 要

(1) 湯原湖は岡山県真庭郡湯原町に堰堤をもち旭川の上流をせきとめた発電用ダムであり、人造湖としての歴史は5年目である。

(2) 湖は湖水の水質から貧栄養の状態にあると考えられる。

(3) 夏季のプランクトンの鉛直分布をみると、種類、量ともに少なく湖水中に栄養の乏しいことをよく物語っている。個体数は10m層で1006/lで最大である。*Ceratium hirundinella* が各層とも優占している。

(4) 年間出現のプランクトンは植物17、動物24の41種で月別の優占種は植物2、動物7の9種である。

参 考 文 献

上野 益三：陸水動物実験法。

杉原 弘人：三坂川の陸水学的研究。陸水雑，16，3~4，120~129，1952。

田村 正，富士 昭：支笏湖のプランクトンの垂直分布。陸水雑，14，3，133~140，1949。

根来健一郎：琵琶湖主湖盆の植物性プランクトン。陸水雑，18，37~46，1956。

根来健一郎：琵琶湖の水質。陸水雑，19，1~22，1957。

三宅 泰雄：水質分析。

S U M M A R Y

Yubara-ko is a reservoir which was constructed in damming up the upper course of the Asahi-gawa River at the town of Yubara, Maniwa-gun in Okayama prefecture, for the purpose of storing water to hydro-electric power stations. It was filled with water in March, 1955, and five years have passed after the appearance of this artificial lake up to the beginning of 1959. The writer began the investigations of this lake, concerning its water quality, the vertical distribution of plankton in summer, and the annual succession of net-plankton during the period from September 1958 to August 1959. The results obtained are as follows:

The metalimnion developed in the layers of 4-20 metres deep in Aug.; the pH values were 6.0-7.2, the amounts of nutritive salts for phytoplankton ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$) being 0.01-0.02 mg/l, 0.01-0.03 mg/l, and 0.005-0.006 mg/l respectively. This lake seems to be remained still at an oligotrophic condition. The plankton reached the maximum in numbers (1006/l) in the layer of 10 m.

deep, and the minimum (41/l) in the layer of 45 m deep (bottom layer). *Ceratium hirundinella* was the dominant species throughout the layers. In general, the plankton were rich in individual numbers in the layer of 10 m deep, i. e. the middle layer of the metalimnion where the dissolved oxygen and the pH values decreased remarkably.

The annual succession of plankton showed that the number of species and the amount of plankton were rich in summer and poor in winter. During the period from September 1958 to August 1959, there occurred 41 species of plankton animals and plants, of which 17 were the phytoplankters and 24 were the zooplankters. The dominant species of plankton animals and plants in each month were as follows:

September	<i>Diffugia carona</i>
October	<i>Synedra</i> sp.
November-December-January	<i>Bosmina longirostris</i>
February	<i>Synchata stylata</i>
March	<i>Asplanchna priodonta</i>
April	<i>Ploesoma truncatum</i>
May	<i>Keratella cochlearis</i>
June	<i>Bosminopsis deitersi</i>
July-August	<i>Ceratium hirundinella</i>

(筆者: 樋口 昌三, 岡山県真庭郡勝山中学校; Masami HIGUTI, Katuyama Lower Secondary School, Maniwa-gun, Okayama prefecture).