東京都の防火用水池における生物生産の研究

XI 溶存無機塩類量、有機物質質量並びに bacteria 数の 季節変化とそれらの相互関係¹⁾

倉 沢 秀 夫

Studies on the biological production of fire pools in Tokyo

XI. The seasonal changes in the amounts of dissolved
inorganic salts, organic substances and the number
of bacteria, and the interrelation among them.

By Hideo KURASAWA

1 ま え が き

湖沼の栄養度即ち生産量は古くから水中に含まれる植物の栄養塩類の濃度について定められており (NAUMANN 1921, THIENEMANN 1926, 吉村 1937), 就中 N 化合物, P 化合物及び Fe 化合物は自然条件下で不足になり勝ちであるとされているので (ATKINS 1926, 吉村 1937) 特に注目されて来た。著者は先に諏訪湖 (宝月, 倉沢外 3 名, 1952) や水田 (倉沢 1956, 1957) においてこれら塩類量の季節変化及び垂直分布変化を測定し, 生産条件としての重要性を明かにしたが, 本研究においても同様な目的で 3 つの防火用水池の各種塩類と有機態の N 化合物や Chlorophyll 量との季節変化を対比し, これらの増減関係を追求した。

又 bacteria は湖沼物質循環系において有機物を無機物化して緑色植物の栄養塩類を利用可能な状態に溶出させる重要生物群である。それにも拘らず湖沼生産に必要な population number や standing crop 及び分解作用の量的研究は甚だ少く該問題解明の隘路となつている。本邦における水中の bacteria, 菌類分布密度の報告は比較的多く, 湖沼では野尻湖 (吉越 1926), 高須賀沼 (菅原 1935), 八甲田山湿原湖 (神保 1938) 及び諏訪湖 (宝月等 1952) 等においてある時期又は周年の観測結果があるが, これらのものの多くは生産条件との結びつきを追究する点では必ずしも充分なものとは云えない。本研究では 1952 年と 1953 年の両年における bacteria の population number の垂直分布周年変化の観察結果を基として, 同時に測定された無機的及び有機的環境要因との関係より季節変化の原因を明らかにしようとした。

1) 資源科学研究所業績第 914. 並びに東邦大学理学部生物学教室業績。

以上の結果より得られた溶存無機塩類量、有機物量及び bacteria 数の相互の季節増減を対比して池内における物質循環の様相について若干の知見を得たのであるが、生産研究に重要な分解量の測定に迄進める事が出来なかつた。

2 測 定 方 法

試水は東京都新宿区百人町資源科学研究所の構内の方型同型コンクリート製の大型防火用水池 ($4 \times 10\text{m}^2$, 深さ 2.5m) A, B 及び C の各池において1952年, 1953年の両年に亘り毎月 0, 1 及び 2m の各深度より siphon 式採水法で採水された。水中の溶存栄養塩類としては $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が測られ, $\text{NH}_4\text{-N}$ は NESSLER 試薬, $\text{NO}_2\text{-N}$ は GRIESS-ROMIJN 試薬, $\text{NO}_3\text{-N}$ は三宅 (1943) の方法で亜硝酸に還元したのち GRIESS-ROMIJN 試薬, $\text{PO}_4\text{-P}$ は DENIGÈ-ATKINS の方法により比色定量した。Organic-N は microkjeldahl 法により, total-P は KEMMERER-ROBINSON 法 (吉村 1937) により定量した。1956年には SiO_2 及び Fe を測つたが, SiO_2 は DINERT-WANDENBULOKE 法, Fe は塩酸亜硫酸ナトリウムを還元剤とし, 酢酸緩衝液を用いて 2, 2'-ジビリジンにより比色して第一鉄 (Fe^{++}) 及び第二鉄 (Fe^{+++}) の和を定量し, 又 Fe^{++} のみを調べる場合は塩酸亜硫酸ナトリウムを使用せずに比色した。Chlorophyll 量は phaeophytin にした後比色する (宝月, 倉沢外 3 名) 定量方法によつた。

Bacteria を含む水の採水に際しては試水には充分洗滌したビンに入れ, 直ちに実験室に持ち帰り適当な濃度に滅菌水で稀釈して平板培養を行い, colony 数を計数した。培養基は HENRICI (1939) の処方に従い casein soda, peptone, glycerin, 澱粉, KH_2PO_4 の各々の 0.5g を 1000cc の蒸留水に溶かし, 寒天 15~20g を加えて作つた。培養中は 25°C に保ち接種後 7~10日後に colony 数を数えた。

3 塩類量の季節変化

以上の方法で測定された結果は次の通りである。

A) 窒素化合物

$\text{NH}_4\text{-N}$ は Fig. 1 に示すようで, 先づ表層に就いて見ると A 池は 0.01~0.30 mg/l (1952年) 及び 0.01~0.42mg/l (1953年) で, 最大は晩春に最小は冬に得られる。B 池では 0.11~0.25mg/l (1952年) 及び 0.03~0.83mg/l (1953年) で, 最大は秋に最小は冬であり, C 池では 0.01~0.42mg/l (1952年) 及び 0.01~0.64 mg/l (1953年) で, 最大は春又は秋に最小は冬又は夏に得られた。一方底層 (2m 層) では A 池は 0.02~0.30 mg/l (1952年) 及び 0.02~0.28mg/l (1953年) で春と秋に maximum が, 10月に両年共最小値が得られ, B 池は 0.02~2.14mg/l (1952年) 及び 0.05~1.07mg/l (1953年) で A 池と同様に変化し, C 池は 0.01~1.12mg/l (1952年) 及び 0.02~0.86mg/l (1952

Fig. 1(A) Seasonal fluctuations in the amount (mg/l) of NH₄-N, organic-N, albuminoid-N in the surface and bottom water of three pools in Tokyo. Monthly change of nitrogen compounds in pool A.

Fig. 1(B) Seasonal fluctuations in the amount (mg/l) of NH₄-N, organic-N, albuminoid-N in the surface and bottom water of three pools in Tokyo. Monthly change of nitrogen compounds in pool B.

Fig. 1(c) Seasonal fluctuations in the amount (mg/l) of NH₄-N, organic-N, albuminoid-N in the surface and bottom water of three pools in Tokyo
 Monthly change of nitrogen compounds in pool C.

Table 1 Vertical distribution of dissolved nitrites (mg/l)
in three pools.

Pool	Depth (m)	1952				1953			
		II	IV	VIII	XI	III	V	IX	XII
A	0	0.00	0.00	0.00	0.002	0.00	0.00	0.00	—
	1	0.00	tr	0.00	0.002	0.00	0.00	0.00	—
	2	0.00	tr	0.00	tr	tr	0.00	0.00	—
	Mean	0.00	tr	0.00	0.002	0.00	0.00	0.00	
B	0	0.00	0.005	0.00	0.007	0.00	0.002	0.00	0.002
	1	0.00	0.005	0.00	0.005	0.00	0.002	0.00	0.002
	2	0.00	0.005	0.00	0.005	0.00	tr	0.00	0.004
	Mean	0.00	0.005	0.00	0.006	0.00	0.001	0.00	0.003
C	0	0.00	0.00	0.00	0.003	0.00	0.002	tr	0.006
	1	0.00	0.00	0.00	0.003	0.00	0.002	0.00	0.006
	2	0.00	tr	0.00	0.003	0.00	0.002	tr	0.006
	Mean	0.00	0.00	0.00	0.003	0.00	0.002	tr	0.006

Table 2 Vertical distribution of dissolved nitrates (mg/l)
in three pools.

Pool	Depth (m)	1952				1953			
		II	IV	VIII	XI	III	V	IX	XII
A	0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.015	0.006	0.00	—
	1	0.00	0.01	0.00	0.01	0.014	0.007	0.00	—
	2	0.00	0.01	0.00	0.02	0.014	0.006	0.00	—
	Mean	0.00	0.01	0.00	0.01	0.014	0.006	0.00	
B	0	0.002	0.03	0.01	0.07	0.00	0.015	0.00	0.03
	1	0.002	0.05	0.008	0.08	0.00	0.015	0.00	0.04
	2	0.006	0.06	0.004	0.07	0.00	0.02	0.00	0.02
	Mean	0.003	0.05	0.004	0.07	0.00	0.02	0.00	0.03
C	0	0.004	0.01	0.00	0.02	0.00	0.015	0.00	0.02
	1	0.004	0.015	0.00	0.02	0.00	0.015	0.00	0.02
	2	0.005	0.01	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.02
	Mean	0.004	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02

年)で夏又は秋に増え春と冬に減つてゐる。こうして見ると A池はB及びC池よりやや少く上下層の差も小さい。又各池共に毎年ほぼ同じような濃度変化を示し一般的に云つて春秋2回の増大があり、夏の表層は殊に小さい。

$\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ は季節毎に年4回測定されたのみなので周年変化を見るには不十分であるが、Tabs. 1, 2 の値よりすれば次のようになる。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は各池共に上下層の差は少く、A池は $0\sim 0.002\text{mg/l}$ 、B池は $0\sim 0.007\text{mg/l}$ 、C池は $0\sim 0.006\text{mg/l}$ で、一般に春と秋は少い。又 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $\text{NO}_2\text{-N}$ と同様に上下層の差は殆んど無く、A池は $0\sim 0.02\text{mg/l}$ 、B池は $0\sim 0.08\text{mg/l}$ 、C池は $0\sim 0.04\text{mg/l}$ で夏季の減少が目立つ。

Org.-N (有機態窒素) は Fig. 1 に示すようであつて、どの池も毎年春秋2回の maximum と冬と夏に minimum が各層においておこる。大体底層は表層より値は大きく又夏季停滞期中は表層に増える。表層では A池は $0.44\sim 2.41\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.53\sim 1.91\text{mg/l}$ (1952年)、B池では $0.62\sim 2.76\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.59\sim 2.20\text{mg/l}$ (1953年)、C池では $1.22\sim 2.60\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.97\sim 2.64\text{mg/l}$ (1953年) であり、又一方底層では A池は $0.45\sim 2.98\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.73\sim 2.29\text{mg/l}$ (1953年)、B池は $1.00\sim 3.05\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.74\sim 2.08\text{mg/l}$ (1953年)、C池は $1.43\sim 2.37\text{mg/l}$ (1952年) 及び $0.85\sim 2.62\text{mg/l}$ (1953年) であつて、平均して A池は B、C池の値より小さい。

B) 燐化合物

Table 3 Seasonal and vertical changes in the content (mg/l) of total phosphorus in three pools.

Pool	Depth (m)	1951		1952			
		IX	XII	II	V	VIII	XI
A	0	0.05	0.04	0.035	0.08	0.07	0.03
	1	0.01	0.04	0.04	0.075	0.02	0.025
	2	0.01	0.05	0.045	0.03	0.02	0.03
	Mean	0.02	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03
B	0	0.075	0.05	0.035	0.07	0.16	0.04
	1	0.04	0.07	0.035	0.065	0.125	0.055
	2	0.04	0.07	0.045	0.045	0.025	0.065
	Mean	0.05	0.06	0.04	0.06	0.10	0.05
C	0	0.09	0.055	0.045	0.18	0.075	0.06
	1	0.085	0.055	0.045	0.16	0.065	0.055
	2	0.07	0.065	0.055	0.06	0.075	0.06
	Mean	0.08	0.06	0.05	0.13	0.07	0.06

Fig. 2 The relation between nutritive salts and chlorophyll content, or bacterial number, in three pools.

可溶性の磷 $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定結果は Fig. 2 に示すとうりで、A 池及び B 池は $0\sim 0.008\text{ mg/l}$, C 池は $0\sim 0.023\text{ mg/l}$ の値を示し、一般的に見て各池共に春と秋には小さく冬には大きく、夏季停滞期中は上層に小さく下層に大きい傾向を示す。Total P (Tab. 3) は四季に測定されたのみで正確は期し難いが、A 池では $0.01\sim 0.08\text{ mg/l}$, B 池では $0.025\sim 0.08\text{ mg/l}$, C 池では $0.045\sim 0.19\text{ mg/l}$ で冬は下層夏は上層に大きく、A 池は最小、C 池は最大の値を示している。

C) その他の化合物

SiO_2 及び Fe は A 及び C 池に於て1956年の2月と3月に測定された (Tab. 4). この

Table 4 Vertical distribution in the content of dissolved nitrogen compounds, phosphorus, iron and silica in the pools.

Pool	Date	Depth (m)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l)	Fe^{++} (mg/l)	Fe^{+++} (mg/l)	SiO_2 (mg/l)
A	1/III '56	0.0	0.11	0.00	0.00	0.002	—	—	5.41
		0.5	0.12	0.00	tr	0.002	—	—	5.30
		1.0	0.10	0.00	tr	0.002	—	—	5.30
		1.5	0.08	0.00	0.00	0.002	—	—	6.82
		2.0	0.05	tr	0.00	0.001	—	—	6.24
		2.5	0.02	tr	0.005	0.001	—	—	6.80
B	16/II '56	0.0	1.55	0.00	0.00	0.001	—	—	3.41
		0.5	1.95	0.00	0.00	0.001	—	—	3.22
		1.0	0.75	0.00	0.00	0.002	—	—	3.90
		1.5	0.23	0.00	0.00	0.001	—	—	4.03
		2.0	0.20	tr	0.00	0.002	—	—	4.20
		2.5	0.72	tr	0.00	0.002	—	—	3.41
C	15/III '56	0.0	0.44	—	—	0.002	0.00	0.56	3.81
		0.5	0.59	—	—	0.002	0.00	0.58	3.81
		1.0	0.51	—	—	0.002	0.00	0.58	4.00
		1.5	0.32	—	—	0.002	0.00	0.60	3.81
		2.0	0.38	—	—	0.002	0.00	0.60	4.44
		2.5	0.38	—	—	0.002	0.00	0.68	5.86

表によれば SiO_2 はA池は $5\sim 7\text{ mg/l}$, C池は $3\sim 6\text{ mg/l}$ で上層は少く下層に行くに従い多くなる。又 Fe は C 池において測定されたが、 Fe^{++} は全く検出出来ず total の Fe は 0.6 mg/l で上層は下層よりやや少ない。

4 水中の無機塩類と有機物質との関係

本池には見る可き注入水は無いので、水中の可溶性無機塩類は降水によるものが一部分で、その殆んどは生物死体に由来する懸濁物や池底泥の有機物分解によつて溶出されるものと思われる。この無機塩類の一部は、再び生物にとり入れられ同化器官の構成にあづかる。こうした生物体中の塩類量は、水中溶存の塩類より余程高い濃度で貯えられる (HOGGLAND 1950), それ故生物の生長に必須で湖沼で不足がちな P 及び N の溶存濃度は水中の有機物の量と当然逆関係を呈する事が予想される。

A) Albuminoid-N 及び Organic-N との関係

$\text{NH}_4\text{-N}$ と alb-N 及び org.-N との周年変化の関係を各池に就いて見ると Fig. 1 のようである。これらの図によれば表層も底層も $\text{NH}_4\text{-N}$ の maximum は、alb-N 及び org.-N の minimum か又は漸減期におこり、minimum のときは、その逆を示す事が多い。次に相互の量的関係を見ると、A 池では $\text{NH}_4\text{-N}$ の価は、alb-N の価を上廻るのは maximum のときのみであり、org.-N とは全く交叉する事は無い。B 池では両層共に $\text{NH}_4\text{-N}$ は alb-N に勝り、特に春秋に著しく、このときは org.-N をさえ上廻る。又 C 池では上層と底層で非常に異なり、表層では $\text{NH}_4\text{-N}$ は年中 alb-N を越える事は無いが、底層では停滞期中は常に勝り、1953年には5月以降12月迄この状態が続く。

$\text{PO}_4\text{-P}$ との関係を図 1 と Fig. 2 との対比によつて見ると、A 池の表層における最大は1952年の8月、B 池では9月、C 池では6月であるが、このときにおける alb-N 及び org.-N の価は、いずれも漸減期が minimum のときであり、反対に $\text{PO}_4\text{-P}$ が零のときは有機物は漸増期又は maximum を示している。

B) Chlorophyll 量との関係

緑色植物は、水中で有機物生産を行う際、可溶性の塩類を多量にとつて生長するが、そのために phytoplankton 量の多少を表わす水中の chlorophyll 量との関係は、極めて密なものがある筈である。今表層における chlorophyll 量と $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の相互間の季節変化を見ると Fig. 2 の如くである。即ち、これらの可溶性塩類は、明かに chlorophyll 量と反比例し、特に春季と夏季に顕著である。このことは phytoplankton の増減が塩類の影響を強く受ける事実を示すものであろう。

5 Bacteria 数の季節変化とその主要原因

A) 測定結果

A, B 及び C 池において1952, 1953年の両年の測定された結果は、Fig. 3 の如くである。この図によれば、1952年はどの池も冬季は少く、春(5月)における急激な増加と秋

Fig. 3 The relation between the bacterial number and water temperature, or Protozoa number, in the pools

(11月)に増え、盛夏は幾分減少し、1953年には春はA池は3月、C池は4月に増え、秋は増加せず12月においてやや多くなり、B池は春から秋迄増大が起らず全般的に1953年より著しく劣る。水深別では深度が小さいので明瞭な傾向は得られないが、表層と底層(2m層)に多い。特にB、C池では底層で著しく増加する。数は各池共に大差はなく、A池が他よりやや劣る。池別に見た両年の最大及び最小は、A池では1952年には $45.1 \times 10^3/\text{cc}$ (5月, 0m層)及び $1.2 \times 10^3/\text{cc}$ (4月, 2m層)、1953年では $6.6 \times 10^3/\text{cc}$ (9月 0m)及び $0.1 \times 10^3/\text{cc}$ (3月, 1m)であり、B池では1952年には $49.0 \times 10^3/\text{cc}$ (11月, 2m)及び $0.6 \times 10^3/\text{cc}$ (8月, 0m)、1953年では $5.2 \times 10^3/\text{cc}$ (10月, 0m)及び $0.5 \times 10^3/\text{cc}$ (9月, 1m)であり、C池では1952年において $79.6 \times 10^3/\text{cc}$ (11月, 2m)及び $1.3 \times 10^3/\text{cc}$ (6月, 0m)、1953年には $9.1 \times 10^3/\text{cc}$ (4月, 2m)及び $0.4 \times 10^3/\text{cc}$ (5月, 0m)である。こうして見ると1953年度は1952年に見られるような大増殖は起らず、又両年の平均値で見てもどの池も1952年は1953年にまさり、底層は常に大きく又全般的に $\times 10^2 \sim 10^4$

の価を示している。

Fig. 3 に示す水中 *bacteria* の数を、同様な方法で測定された日本の富栄養湖高須賀沼(菅原 1935)及び諏訪湖(宝月, 他 4 名 1952)の価 $\times 10^4 \sim 10^5$ と比べるとやや少い価を示しているが、季節増減の傾向はよく類似する。諏訪湖の沿岸部においては時に $\times 10^7$ という大きな価が得られたが、これは沿岸部の有機懸濁物質の量が、湖心よりはるかに多いためとされた。若しそうだとすれば、本池の水はかなり多い有機懸濁物質を含有するが(III 報参照)その割に *bacteria* 数は少い。これについては、これらの池は普通の湖の沿岸部に比し水の動揺が少いので、やや腐植栄養化しているものと考えられるが、一般に腐植栄養湖は水中有機物質質量に比し *bacteria* の発達が悪いと云われ、又一方晩春より夏にかけて 0.5~1.0 m 層以深は溶存酸素量が零になる事(X 報参照)が判明しており、この条件下では好気性の *bacteria* の発達を著しく阻害することが予想される。

Bacteria 数の垂直分布は、一般に表層と底層に多いとされているが、本観測結果でも同様な事実を得ている。特に底層に大きな価(1952年11月のB及びC池で夫々 $49.0 \times 10^3/\text{cc}$ 及び $79.6 \times 10^3/\text{cc}$)が得られるが、これは池底泥中には水中よりはるかに多くの *bacteria* が含まれている(菅原 1934, 1935, HENRICI 1939)ので、その影響によるものであろう。又停滞期には水温躍層より浅い層は、深い層より多いと云われるが、B及びC池の夏の水温躍層の明瞭なときでも、顕著な事実をつかむことは出来なかつた。

B) 主要環境要因との関係

Bacteria の分布及び季節変化の原因に関して WELCH (1952) は、光、水温、捕食者及び有機物量等の影響があるとしている。吉越(1926)は野尻湖で表層や上層には分布数が少いのは日光殺菌によるものとした。野尻湖のような透明度の大きい(4~13 m)水の上層ではこの現象はあり得ると思われるが、本池は 0.5~1 m の小さい透明度であるので非常に光が弱められるし、又、基質となる *seston* 量も一般富栄養の湖沼よりはるかに多く(III 報参照)、従つて光及び食物条件が制限要因となることはな少いと推定される。それ故に本研究においては水温及び捕食者の影響についてのみ見ると Fig. 3 に示すようである。これによれば *bacteria* は、水温は 10~25°C の時によく発達するようで(SNOW, FRED 1926)、これ以上でも以下でも悪い。又 *bacteria* の主たる捕食者は原生動物及び原生植物と云われるが、本研究では *Ciliata*, *Flagellata* と *bacteria* の増減を対比すると原生植物の春の増大期は *bacteria* のそれよりやや遅れ、秋は殆んど同時に起り、原生動物は常に *bacteria* の夏の衰退期に増えている。こうして見ると好適水温下においても捕食者の増大及び前述の酸素欠乏が伴うときは減少すると考えられよう。しかしこの捕食問題は単に見かけの現象としての関連に過ぎない恐れのあることを注視すべきである。

6 塩類濃度と生産

栄養塩類は植物体や動物体に濃縮されて蓄積されているが、生物体が死滅したり消化排

泄されると速やかに *bacteria* により無機化される。しかし尚有機質のまま沈澱したり懸濁又は溶存して水中に存在しているものが多く、完全な無機化は行われない。殊に *bacteria* の繁殖が良好でない場合は、この傾向が著しく、total-N 及び total-P が如何に多くても、植物の利用不可能な状態に置かれるのでは、生産はあがらない。塩類濃度と生産量との関係は最適曲線で示されるもので、あまり濃度が高まると逆に阻害される。この関係を明らかにする方法としては、水の生理分析がある (SCHREIBER 1927)。本邦では倉茂 (1933) 及び松江 (1950) が、淡水及び海水で行い種々の成果を収めているが、本研究においても試みた。この方法はその水に不足がちな N 及び P 化合物の濃度を色々に変えて加え、一定期間放置後に生物の増加量を調べ、最も著しい増加を示すものを不足要素 (最少物質) とし、その時の加えた量を最適濃度とするのである。

A) 塩類の蓄積と *bacteria* の分解作用

これら池における水の蒸発残査量は池や季節で異なるが 100~150mg/l で、灼熱減量は 30~80% である (III 報参照)。一方 seston 中の灰分量は 20~30% で JUDAY 及び BIRGE (1922) の Wisconsin 諸湖での値と一致する。又 phytoplankton (diatom を除く) 及び diatom 及び zooplankton の灰分量は夫々 5~8%, 40%, 8~16% である。今 seston 及び plankton の生の時の比重を 1.0 とし、seston 及び diatom の含水量を 80%, plankton を 90% (JUDAY 1942) として計算すると Tab. 5 の如くである。即ち、seston, diatom, phytoplankton (diatom 以外の) 及び zooplankton 中の塩類濃度は池の水に比べて非常に高く、夫々約 400倍、800倍、60倍及び 130倍となる。

Table 5 Concentration of salts in plankton

Ashes in mg/cc				
Water	Seston	Phytoplankton except diatoms	Diatoms	Zooplankton
0.08~0.16	40~60	5~8	80	8~16

このような高い濃度で有機体に貯えられた塩類の溶出は、有機物消費者や、主として *bacteria* 類の分解作用によつてなされる。即ち生物の枯死体は沈澱途中においても、池底堆積物となつてからも分解するが、この分解速度は *bacteria* 数の多少や水温の高低によつて著しく左右される。即ち seston は新生沈澱物を経て池底泥と化すが、分解度はこの順に進み池底泥では最も良く分解する、Tab. 6 は各池における前記 3 者間の分解度が季節によつて著しく異なり、水温の上昇に伴いその差は大きくなり、特に org.-N の分解が顕著であることを示している。

Table 6 The relation between water temperature and decomposition in the three pools. Loss on ignition and organic-N of seston, new deposit, and surface mud were measured from Feb. to May in 1952. Values in brackets show percentage of seston to new deposit and mud.

* After BIRGE and JUDAY (1922).

Pool	Temp. (C°)	Loss on ignition %				Organic-N mg/g			
		Feb. 6.4	Mar. 11.6	Apr. 17.6	May 20.5	Feb. 6.4	Mar. 11.6	Apr. 17.6	May 20.5
A	Seston	62.5(100)	61.4(100)	84.3(100)	92.3(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)
	Deposit	58.4(93)	24.1(39)	69.8(83)	63.5(69)	20.7(26)	14.6(18)	19.1(24)	12.9(16)
	Mud	50.3(80)	20.9(34)	22.0(26)	32.3(35)	12.3(15)	18.5(23)	13.8(17)	11.3(14)
B	Seston	65.6(100)	62.9(100)	90.3(100)	79.4(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)
	Deposit	31.0(48)	43.0(68)	49.0(54)	17.9(23)	24.9(32)	17.9(22)	21.1(26)	25.7(32)
	Mud	28.2(48)	40.7(64)	18.0(20)	16.9(21)	18.9(14)	16.5(18)	—	7.6(10)
C	Seston	63.4(100)	54.1(100)	84.6(100)	80.6(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)	*80.0(100)
	Deposit	46.9(74)	39.2(72)	66.0(74)	60.7(76)	19.3(24)	18.5(23)	15.9(19)	15.7(20)
	Mud	44.1(70)	34.2(64)	32.3(36)	33.2(41)	9.5(12)	20.5(26)	4.9 (6)	15.1(19)

Table 7 Seasonal fluctuations of the carbon-nitrogen ratio in the water of three pools. Values of carbon are given as 1/4 of consumption volume of KMnO_4 .

Pool	1951		1952											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	XI	XII	
A	—	—	3.1	5.0	5.5	2.5	4.6	5.2	2.4	4.4	5.4	8.6	16.9	
B	6.9	5.8	4.2	4.0	2.7	4.6	4.7	15.4	2.0	1.0	5.4	26.0	3.2	
C	3.8	3.5	5.4	3.8	2.5	3.8	5.9	7.8	3.1	3.0	4.8	4.7	4.8	

1953							Mean			
II	III	IV	V	VI	VII	XI	X	XII	1952	1953
4.5	3.5	5.5	2.5	3.7	4.7	10.4	—	—	5.7	5.0
5.6	3.9	6.4	6.8	2.5	5.2	7.0	5.8	15.8	6.7	6.6
3.6	3.5	4.7	2.4	4.4	3.3	4.5	5.9	16.6	4.5	5.4

炭素率は水中の org.-C と org.-N の比を表わすが、この値は分解過程に大きな関係をもち分解の結果を示すものである。本研究では org.-C が定量されなかつたので、次

のような便法により算出した。即ち KMnO_4 の消費量 (mg/l) の価を 4 で割ると有機炭素量に近い価が得られることより (JUDAY, BIRGE 1932, 1933), 表層のものに就いて (下層の KMnO_4 消費量の価は停滞期中は還元物質によつて不正確になり易いのできた) 炭素量を算出し、これを org.-N 量で除して C/N を計算した、その結果は Tab. 7 のようであつて、1952年及び1953年の価はA池では 2.4~16.9 及び 2.5~11.0, B池は 2.0~26.1 及び 2.5~15.8, C池は 2.5~7.8 及び 2.4~16.6 の間を変化し、一般に小さな価は春と秋に大きな価は夏と冬に見られる。即ち N-化合物は前述のように速やかな分解をするために C-化合物より水中への回帰は早い。それ故炭素率の価の大きい程分解が進んでいることになる。このことよりすれば水中有機物の炭素率の季節変化は、春秋は盛んに plankton の増加が行われる結果 N 量が高まるに反し、夏及び冬は衰えるので N 含量は低下し、殊に夏は水温の上昇による分解速度の増進が伴うので、一層低下することによつておこるものと解されよう。

以上の栄養塩類、有機物の生産 (塩類の蓄積)、bacteria の増殖 (塩類の溶出) という物質循環についての関係は、塩類量、chlorophyll 量、bacteria 数の季節変化を見ることにより或程度明らかにされる。Fig. 2 はその関係を極めてよく明示している。即ち、bacteria の増大期は chlorophyll 量の増大期とほぼ一致又はやや遅れて生じ、又 bacteria

Table 8 The increase of phytoplankton indicated by the increase of alb.-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ seen after various quantities of N-compounds and P-compounds were added to the water of pools.
The experiments were made in 1954.

Pool	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ added as NH_3 in 200 cc	Alb. $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l		KH_2PO_4 added in 200cc	Alb. $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	
		22/I- 20/II	10/VI- 30/VI		22/I- 20/II	10/VI- 30/VI
A	0.00mg Control	0.85	0.31	0.00mg Control	0.90	0.42
	0.02	0.62	0.38	0.02	1.79	1.86
	0.10	0.83	0.93	0.10	1.45	1.67
	0.20	1.26	0.42	0.20	2.08	2.09
B	0.00mg Control	0.88	0.41	0.00mg Control	1.25	0.33
	0.02	1.36	0.83	0.02	0.93	0.60
	0.10	1.03	0.92	0.10	1.44	0.74
	0.20	1.12	0.48	0.20	1.88	0.81
C	0.00mg Control	1.28	0.61	0.00mg Control	1.04	0.52
	0.02	0.94	0.82	0.02	1.73	1.50
	0.10	0.87	0.79	0.10	1.31	0.97
	0.20	1.10	0.56	0.20	2.91	1.24

の増大期には $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加が同時又はやや遅れてつづいている。この事は生物体 $\rightarrow$ Bacteria の増殖 $\rightarrow$ 無機物質の溶出 $\rightarrow$ 生物体の増殖の循環を表わすものと云えよう。

B) 生理分析結果

各池の表面水 200cc を 300cc の三角フラスコにとり、N-化合物としては硫酸 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、P-化合物は第一正磷酸 KH_2PO_4 を種々の濃度になるように加え、綿栓して池水中に放置した。冬季は 1 ヶ月間、夏季は 15 日間培養した後引上げ alb-N 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を測定した。それらの結果は Tab. 8 のようで N-化合物では冬は A 池及び C 池では NH_3 として 1.0mg/l、B 池では 0.1mg/l のときが生物の生長が最も大きく、夏では A、B 池は 0.5mg/l、C 池は 1.0mg/l が最適である。一方 P-化合物では各池共に 1.0mg/l のときが最も良く生長し、季節による差異はない。この価は P の量にして 0.25mg/l であつて相当多量の P を要求している。以上の結果より見れば各池共に N 及び P が不足がちであるが、特に後者において著しいことが認められる。

7 考 察

以上行われた種々の観測及び実験結果に基づいて、水中の無機塩類量の季節変化と生物生産との関係を考察したい。

測定された池水中の可溶性の N 及び P-化合物の濃度は、富栄養湖の諏訪湖での価（宝月、倉沢・外 3 名 1952） $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.05~0.18mg/l、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 0~0.004mg/l、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 0~0.15mg/l、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.001~0.06mg/l に比べると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ははるかに大きく、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ はやや小さく、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は非常に小さいことが判る、諏訪湖の水の生理分析によれば P は左程不足しないが、N は充分であるのは冬季間のみで、他の季節では常に不足することが認められたが、本実験池ではその逆であることが確かめられた。このような事実は諏訪湖と実験池との塩類濃度の比較から推定しても充分理解される。又最も生物生長の良い濃度は $\text{NH}_4\text{-N}$ では 0.5mg/l で諏訪湖も実験池も一致するが、 $\text{PO}_4\text{-P}$ では実験池は 0.25mg/l の最高濃度のとき最大であるので、もつと濃度の高い液で実験を行えばより良く生長する可能性がある。

湖沼の栄養度の判別には種々の尺度が定められているが、吉村（1937）によれば湖水中の total N が $>0.2\text{mg/l}$ 、total P は $<0.02\text{mg/l}$ 、 KMnO_4 の消費量は $>20\text{mg/l}$ 、pH 6.0~7.0、total Fe 0~1mg/l の場合は中性腐植栄養型の湖としているが、これらの条件は P-化合物を除けばいずれも本実験池に当てはまる濃度であり、又新生沈澱物や弛底泥の化学分析結果からも同様なことが云える（VI 報参照）。こうして見ると本実験池はいずれも腐植栄養的な性格を持つが故に、total P の価が富栄養的な価を示しても溶存する腐植質 colloid のために可溶性の P は不可給態にされ、その結果が可溶性 P の不足を招くものであろう。又 $\text{NH}_4\text{-N}$ が非常に多いのに $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ が左程増加しない

が、これは夏季停滞期が長く（5月より9月迄）下層は常に無酸素の還元状態におかれるため、亜硝酸 bacteria 及び硝化 bacteria の分解速度は著しく阻害され、返つて有機物酸化のために NO_3^- は NH_4^+ になることが予想される（吉村 1937）。この停滞期中は無酸素層に $\text{NH}_4\text{-N}$ が極めて多いのに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は全く見られないのはこれを裏書するものであろう。

SiO_2 や total Fe は 2, 3月の冬季の測定されたのみなので、これで年間の変化を推定することは実証的でないが、同季に測定された諏訪湖の値（菅原、小穴等 1950）と比べると SiO_2 は非常に小さく約 $1/6 \sim 1/4$ であり、Fe は10倍又は20倍の値が得られる。本実験池において SiO_2 の小さいのは河川よりの注入水が無いこと（諏訪湖への注入河川水では湖水よりはるかに多くの SiO_2 を含む）に原因しており、そのため diatom の発達は悪い（I 報参照）。Total Fe が極めて多い事は腐植栄養湖の特色とされており、夏季停滞期中は無酸素層の池水をガラスビン中に汲み光をあてると褐色を呈する現象が見られたが、これは Fe^{++} が Fe^{+++} になるためであるという。

炭素率の値は、一般に最初は含窒素化合物が分解に多く用いられるので C/N は大きくなり、その後炭素化合物が用いられるので小さくなるものとされる（芝本 1949）。一般に phytoplankton の C/N は 5.9, zooplankton は 6.2 (HARVEY 1957) といわれ、溶存有機物量は 12.7 という値 (BIRGE, JUDAY 1926, 1927, 1934) が測定され、又 B 及び C 池中へおちる落葉等の外来物では草本類を例にとれば 10~21 (芝本 1949) であるという。こうして見ると Tab. 7 に示す 6.0 以下の炭素率は明らかに不合理な値である。このことは org.-C の算出に KMnO_4 の消費量を基とした方法に難点があるものと考えられ、殊に腐植栄養の性格を有する本実験池では明らかに適当な方法では無い (KMnO_4 消費量測定値が不正確になり易い)。しかし C/N の値が小さいという傾向は前述の如く bacteria の発達が悪いことや新生沈澱物の分解度が悪い点 (VI 報参照) より見てある程度は肯定されよう。

栄養塩類と有機物との季節変化に伴う増減関係に就いては、古くから注目されて来たが、本邦では高安等 (1938) の大沼湖沼群で行つたものや、吉村 (1932) が高須賀沼での連続観測がその一例である。これらは無機塩類量と有機物質量の間には逆関係のあることを明らかにしているが、本実験でも同様な結果が得られ、就中 chlorophyll 量との関係は顕著であつた。このように chlorophyll 量が org.-N や alb.-N に比し明確であるのは、上層における水中の chlorophyll 量は生物生産量に正比例するため (V 報参照)、chlorophyll の多いときは栄養塩類がとられているとであり、小さいときは使われないか又は溶出されている事を示すからであらう。

有機質を分解する bacteria は、云わば有機物に依存して生活を営むので、生物の増殖即ち水中有機物の増大と bacteria の population number との間には強い結びつきのあることが予想される。HENRICI (1939) や WELCH (1952) は plankton の消長は bacteria

の増減を決定すると述べ、又海洋における phytoplankton の最大分布層には bacteria の数も最も多いことが認められている (SYVERDRUP et al. 1946). 本研究における chlorophyll 量と bacteria 数の密度の季節増減は前述の如くであるが, bacteria 数の maximum のときには同時にか, 又はやや遅れて $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の peak がおこることを見逃してはならない. この事実は bacteria が塩類の溶出に非常に大きな役割を演ずることを示唆している. 塩類溶出には bacteria の働きの外に水の循環及び水温の上昇が考えられるが, 春季と秋季におこる水の循環は底層や沈澱物中にとどまっている有機及び無機物質を上層迄懸濁させ, これが溶出面積を拡大する事になり, bacteria の分解作用を立体的に行わせることになるのである. 松江 (1950) は海の珪藻 *Skeletonema* はそれが必要とする最低磷酸量の数倍の磷酸を摂取し貯蔵するが, 死後は細胞体内の phosphatase の作用により速やかに磷酸が遊離すると述べている. この事実は有機体からの可溶性塩類の溶出は有機体自体の働きによつても行われる事を示すものであろう.

8 結 論

3つの防火用水池の可溶性無機塩類及び有機物質の季節変化を観察し, 両者の相互関係を調べ次の如き結果を得た.

(1) 窒素化合物中 $\text{NH}_4\text{-N}$ は, 表層で見ると $0.01\sim0.42\text{mg/l}$, B池は $0.03\sim0.83\text{mg/l}$, C池は $0.01\sim0.04\text{mg/l}$ で, どの池も極大は春又は秋季に極小は冬と夏におこり, 底層は表層より高い価を示す (特に夏季停滞期中はその差が著しい). $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ では上下層の差は僅小で前者は $0\sim0.007\text{mg/l}$, 後者は $0\sim0.08\text{mg/l}$ で春と秋は零になる. 一般に A池は他より低い価を示す. Organic-N は毎年2回の山があり, 春秋に高く冬と夏に低い. 底層は表層に勝り $0.53\sim0.76\text{mg/l}$ (表層) で A池は他より小さい.

(2) 燐化合物の $\text{PO}_4\text{-P}$ の価は A, B池共に $0\sim0.008\text{mg/l}$, C池は $0\sim0.023\text{mg/l}$ で春と夏の上層及び秋には零になる. total P は $0.01\sim0.19\text{mg/l}$ の間で C池は他の池の2~4倍の価を示す.

(3) 冬季の SiO_2 及び Fe は夫々 $3\sim7\text{mg/l}$ (A池及びC池), 0.6mg/l (C池) である.

(4) 以上各池の各種の塩類量は中性腐植栄養湖にあてはまる条件である.

(5) 各池の可溶性塩類と albuminoid-N, 又は organic-N 及び chlorophyll の量の季節変化は逆関係を示し, 就中 chlorophyll 量との関係は顕著である.

(6) 水中好気性 bacteria 数 ($\times 10^2\sim\times 10^4$) は一般富栄養湖より低く, A池は他の池よりやや少なく, 1952年は1953年より多く, 季節変化は池や年によつて変わり, 1952年にはA池は春1回, B, C池は春秋2回の極大があるが, 1953年には不明瞭であり, 夏期停滞期中は常に減少する. 通常 $10\sim25^\circ\text{C}$ の適温下に於いて増えるが, 原生生物が増加したり, 溶存酸素量が欠乏するときは減少する.

(7) Bacteria 数の極大は chlorophyll 量の極大と同時に又はやや遅れておこり, 可溶性

塩類の増大は *bacteria* の増大と同時に又は直後におこり、塩類の増大につづいて *chlorophyll* 量の増加が見られる。

(8) 生物体中の無機塩類は池の水の 40~400 倍に濃縮貯蔵される。

(9) 池の生産の最小物質となる要素は N より P が不足するが、P の不足は主として腐植質 *colloid* の影響に依るものであろう。

*

本研究の実施にあたり、東京都立大学教授宝月欣二博士及び同大学北沢右三助教授より有益な助言と指導を賜わり、又資源研究所の鈴木能彦氏の絶大なる協力を得た。又東邦大学理学部長中野治房博士からは種々の便宜が与えられた。以上の各位に対し深厚なる感謝の意を表する。尚本研究費の一部は文部省科学研究助成金を使用した。

引 用 文 献

- ATKINS, W. R. G.: A quantitative consideration of some factors concerned in plant growth. *Jour. du Conseil*, *1*, 99—126, 197—226 (1926).
- BIRGE, E. A., and C. JUDAY: The inland lakes of Wisconsin. *Wisc. Geol. Nat. Hist. Survey Bull.*, *64*, 1—222 (1922).
- BIRGE, E. A., and C. JUDAY: Organic content of lake water. *Bull. U.S. Bureau Fish.*, *42*, 185—205 (1926).
- BIRGE, E. A., and C. JUDAY: The organic content of the water of small lakes. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, *46*, 357—372 (1927).
- BIRGE, E. A., and C. JUDAY: Particulate and dissolved organic matter in inland lakes. *Ecol. Monogr.*, *4*, 440—474 (1934).
- HARVEY, H. W.: On the production of living matter in the sea off Plymouth. *Jour. Mar. Biol. Ass. U. K.*, *27*, 337—345 (1950).
- HARVEY, H. W.: The chemistry and fertility of sea waters. London. (1957).
- HENRICI, A. T.: The distribution of bacteria in lakes. *Amer. Assoc. Sci., Publ.*, *10*, 39—64 (1939).
- HOGETSU, K., and S. ICHIMURA: Studies on the biological production of Lake Suwa. VI. The Ecological studies on the production of phytoplankton. *Jap. Jour. Bot.*, *14*, 280—303 (1954).
- 宝月欣二, 北沢右三, 倉沢秀夫, 白石芳一, 市村俊英: 内水面の生産力及び物質循環に関する基礎的研究. *水産研会報*, *4*, 41—127 (1952).
- 市村俊英, 西条八束: 海洋の生産量. *科学*, *28*, 513—517 (1958).
- JIMBO, T.: Beobachtungen einiger thiotrophen Seen Japans mit besonderer Berücksichtigung der Produktion von Schwefelwasserstoff. *Zeitschr. f. Vergleichende Bakteriologie*, *1*, 1—12 (1955).

- sichtigungen der Schwefelbakterien. Sci. Rep. Tôhoku Univ., 13, 259—269. (1938).
- JUDAY, C., and E. A. BIRGE: The second report on the phosphorus content of Wisconsin Lake waters. Trans. Wis. Acad. Sci. Arts, Let., 26, 353—382 (1931).
- JUDAY, C., and E. A. BIRGE: Dissolved oxygen and oxygen consumed in the lake waters of northeastern Wisconsin. T.W.A.S. Arts. Let., 27, 415—486 (1932).
- JUDAY, C., and E. A. BIRGE: The transparency, the color and the specific conductance of the lake water of Northeastan Wisconsin. T. W. A. S. Arts, Let., 28, 205—259 (1933).
- JUDAY, C.: The summer standing crop of plants and animals in four Wisconsin Lakes. T. W. A. S., Arts, Let. 34, 103—135 (1942).
- 倉沢秀夫: 水田における plankton 及び zoobenthos の組成並びに standing crop の季節変化 (1—2). 資源研彙, 41—42, 87—98; 45, 73—84 (1956—1957).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 I. 植物プランクトンの成層構造と季節遷移. 日生態会誌, 8, 129—136 (1958).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 III. 植物プランクトンの現在量の季節変化. 日生態会誌, 8, 143—149 (1958).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 V. Phytoplankton の Productivity の季節変化. 日生態会誌, 9, 45—51 (1959).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 VI. 新生沈澱物量の季節変化. 陸水雑, 19, 102—117 (1958).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 VIII. 水中光度の垂直分布並びに透明度の季節変化. 資源研彙, 48, 18—24 (1958).
- 倉沢秀夫: 東京都の防火用水池における生物生産の研究 X. 溶存酸素量及び全炭酸量の季節変化. 水温研, 3 (印刷中) (1958).
- 倉茂英次郎: 春季淡水藻の増殖と栄養塩類及び気象要素. (プランクトンの生理現象と環境との関係 第一報). 気象集誌, II, 11, 289—299 (1933).
- KURASHIGE, H.: Spring diatom increase in relation to the nutrient salts and the meteorological elements (Relation between the physiological phenomena of plankton and its environment. Part 1) Geophys. Mag., 7, 171—188 (1933).
- 松江吉行: 海水の生理分析とプランクトン硅藻の磷酸貯蔵作用. 水産研会報, 2, 29—42 (1950).
- SCHREIBER, E.: Die Reinkultur von marinen Phytoplankton. Wiss. Meersuntersch., Abt. Helgoland, N. F., 16, 1—34 (1927).
- SNOW, L. M., and E. B. FRED: Some characteristic of the bacteria of Lake Men-

- dots. Trans. Wis. Acad. Sci. Arts, Let., 22, 143—154 (1926).
- 芝本武雄：森林土壌学. 東京 (1949).
- 菅原 健：湖水の細菌学的研究と高須賀沼中の細菌数の周年観測結果. 陸水雑, 4, 125—128 (1935).
- 菅原 健, 小穴進也, 小山忠四郎, 半谷高久, 森田良美, 山田節夫：諏訪湖及び東京湾の生産力調査研究. 水産研会報, 2, 3—28 (1950).
- SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON, and FLEMING, R. : The oceans, their physics, chemistry and general biology. New York (1946).
- 高安三次, 五十嵐彦仁, 黒田久仁男：湖沼水質の季節的变化とプランクトン. 水産調査報告, 40, 1—67 (1938).
- THIENEMANN, A. : Der Nahrungskreislauf im Wasser. Verhandl. Deutschen Zool. Ges., 29—79 (1926).
- 上野益三：陸水生物学概論. 東京 (1935).
- WELOH, P. S. : Limnology. New York (1952).
- 吉越義秀：細菌聚落の垂直分布. 野尻湖の研究. 456—460, 東京 (1926).
- YOSHIMURA, S. : Seasonal variation in content of nitrogenous compounds and phosphate in the water of Takasuka Pond, Saitama, Japan. Arch. f. Hydrob., 24, 155—176 (1932).
- 吉村信吉：湖沼学. 東京 (1937).

S A M M A R Y

(1) The seasonal changes in the contents of dissolved inorganic salts, organic substances and the number of bacteria were measured in three pools of Tokyo in 1952 and 1953. The interrelation between these three were also investigated.

(2) The amounts of $\text{NH}_4\text{-N}$ of the surface layer was 0.01—0.042 mg/l in pool A, 0.03—0.83 mg/l in pool B, and 0.01—0.64 mg/l in pool C. In all the pools the maximum concentrations were seen in spring and autumn, and the minimum ones in winter and summer. The amount was always larger at the bottom layer than at the surface layer.

The difference of the amounts of $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ between the surface and the bottom layers was very small, the former being 0—0.007 mg/l and the latter 0—0.08 mg/l, both of which decreased to zero in spring and autumn. The concentration in pool A was lower than in any other pools in general.

(3) The content of organic-N showed two maxima every year. It was high in spring and in autumn, and low in winter and in summer in all the pools. At

the surface layer it was about 0.53~0.76 mg/l, being lower than in the bottom layer. The content in pool A was lower than those in any other pools.

(4) Among the phosphorus compounds, the amount of $\text{PO}_4\text{-P}$ was 0~0.008 mg/l in pool A and B, 0~0.003 mg/l in pool C. It became zero in the surface layer in spring and summer, and in every layer in autumn. The content of total P was 0.01~0.19 mg/l, which was 2~4 times as much in pool C as in the other pools.

(5) The concentrations of the above minerals in each pool was nearly agreeable with those which were seen in neutral dystrophic lakes.

(6) The reciprocal relations were seen among the amount of dissolved salts and the amount of albuminoid-N, organic-N or chlorophyll content. The relationship was especially marked in the case of chlorophyll content.

(7) The measurement of bacterial number was made monthly by the method of plate culture. The bacterial numbers were between $\times 10^2$ — 10^3 per cc water of the pools and were fewer than those of eutrophic lakes. Two maxima and two minima occurred during 1952. The maxima were seen in spring and autumn, and the minima in winter and summer. In 1953 no tremendous abundance occurred, and a minimum was seen during the summer stagnation.

(8) It was recognized that bacteria increased in general during the time of optimum temperature (10~25°C). However, even in that time they decreased in accordance with the increase of Protozoa and Protophyta or with the shortage of dissolved oxygen.

(9) The maximum size of bacterial population appeared at the same time with the maximum of chlorophyll content; or, the latter followed immediately the former. The increase in the dissolved salts was seen at the same time with or immediately after the increase in bacterial population. The increase of chlorophyll followed the increase of salts.

(10) The amount of inorganic salts was 40~400 times as much in the living body as in the pool water.

(11) According to physiological analyses, the minimum element in the water of pools for biological production seemed to be P rather than N. This shortage of phosphorus was considered to be caused by the abundance of humic substances.

(著者: 倉沢秀夫, 千葉県習志野市大久保, 東邦大学理学部生物学教室; Hideo KURASAWA, Biological Institute, Fac. of Science, Tōhō University, Narashino, Chiba Pref.)