

湖山池における栄養塩負荷量に関する研究

道上 正規*¹・檜谷 治*¹・朴 啓次*²

*¹土木工学科・*²日建技術コンサルタント

Inflow of Nutrients in Lake Koyamaike

by

Masanori MICHIE*¹, Osamu HINOKIDANI*² and Keiji BOKU*²

*¹Department of Civil Engineering

*²Nikken Gijutsu Consultant

In lake koyamaike, lake water contains a lot of nutrients such as Nitrogen or Phosphorus, so phytoplankton blooms sometimes appear in summer season. This phenomenon might be caused by drained water from agricultural farms or houses in lake koyamaike.

Therefore, in this paper, water qualities of 14 rivers which inflow in lake koyamaike are investigated, and inflow rate of several nutrients are considered. And the quality of water which is contained into bed material(mud) in the lake is also investigated, then the amount of nutrient eluted from the mud is evaluated by experiments. Finally, the characteristics of budget of nutrients are discussed.

Key words : lake, water quality, nutrients, elution from mud

1 はじめに

鳥取市の西部に位置する湖山池は、湖面積6.8km²、湖岸線長17.5km、平均水深2.8m、貯水量1.9×10⁷m³の湖であり、千代川からの流出土砂の堆積と地盤の隆起によってできた海跡湖である。また、流域面積は45.7km²で湖面水位の変動により湖山川を通して日本海の海水が湖内に流入する汽水湖である。このため、湖山川にある湖山水門を用いて湖山池の塩分の制御が行われている。

この湖山池の水質は、湖山池周辺が大学の移転ともない都市化が進行したことによって近年悪化してきており、現在の水質は環境基準によると湖沼類型Cに相当し、湖山池の環境基準である湖沼類型Aに適合していない。

そこで、本研究では、まず、水質悪化の主要因と考えられる流入河川からの栄養塩の負荷量を観測によって明らかにするとともに、もう一つの要因と考えられる底泥からの溶出量を実験的に検討する。つぎに、その他の要因を加えて、湖山池における栄養塩の収支(循環)を評価し、湖山池における水質特性と負荷量との関係を検討する。

2 湖山池における流入河川の水質調査

2-1 調査方法

水質調査は、1991年4月15日、5月18日、6月12日、8月16日、12月11日の計5回行い、対象河川は図-1に示す14河川である。調査項目は、気温、水温、濁度、pH、DO、透視度、COD、T-N、T-Pと各種栄養塩(NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P)である。測定に用いた器具及び測定方法を表-1に示す。また、水質項目に関して無機栄養塩であるNH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pについては、採水した試料を0.45(μm)メゾンフィルターを通してから行った。

2-2 流入河川流域の土地利用状況

今回調査を行った各河川の流域と、その土地利用状況を図-1に示す。この流域の土地利用状況から、各河川は以下に示すように3つのグループに分類できる。

グループI：1、3、5、9の河川流域は、土地利用の50%以上が山林で、残りの大部分は農業用地である。したがって、主に農業排水に影響される河川である。

グループII：6、7は1、3、5、9と同様、土地利用からみると山林の他はほぼ農業用地で占められている。しかし、上流に吉岡温泉があり、農業排水とともに生活排水に影響される河川である。

グループIII：11、12、13、14、16、18、

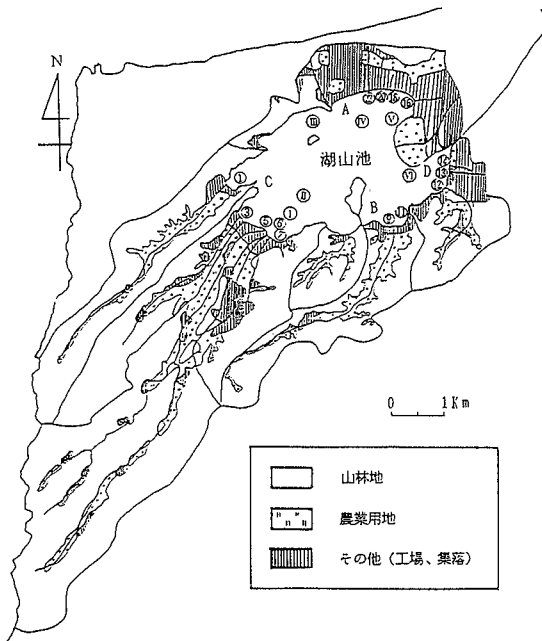


Fig.1 Lake Koyamaike and inflow rivers.

Table 1 Equipments and methods for water quality test.

測定項目	測定器具	備考
水温	柏木デジタル塩分計	
気温	S-31	
塩分濃度		
pH	セメテック pHメーター	
DO	SIBATA DO-3	
濁度	セメテック UC-61型	後方散乱光強度測定法
NH ₄ -N	セメテック	
NO ₂ -N	HC-1000型	発光試験による吸光光度法
NO ₃ -N		
PO ₄ -P		
T-N	TNP88M型	
T-P		
COD	セメテック HC-407型	JIS K-0101 標準

20、22は農業用地はほとんどなく、市街地や住宅が数多く存在し、主に生活雑排水に影響される河川である。

2-3 観測結果及び考察

pH、DO、COD、T-N、T-Pと各種栄養塩(NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P)の観測結果を図-2(a)から図に-2(o)に示す。なお、図中の値は濃度に関しては各グループの平均値を、負荷量に関しては合計値をそれぞれ示している。

(1) pH

全体的に変動は少なく、やや夏季に低下しているもののほぼ7の値を示しており、中性であることがわかる。

(2) DO

グループⅢの濃度が他のグループよりもやや高く、水温に反比例しているが、全体的に好気状態である。しかしながら、個々の河川についてみるは河川13および河川16で夏季に1ppm以下の無酸素状態も観測された。

(3) COD

グループⅠおよびⅡでは5、6月に最高値となっており、農地の施肥の影響であると考えられる。また、グループⅢは全体的に他のグループよりも濃度が高くなっている。

(4) NH₄-N

まず濃度・負荷量ともにグループⅢの濃度が全体的に高く、家庭排水等の影響が大きいことがわかる。グループⅠ・Ⅱでは低濃度ながらCODと同様に5、6月に最高となっている。また、最高濃度は河川16および20で約9ppmであった。

(5) NO₂-N

グループⅢが濃度・負荷量とも最も大きく、グループⅠではほとんど観測されていない。これはNH₄-N同様家庭排水等の影響を大きく受けているものと考えられる。また、最高濃度は河川14の1.2ppmである。

(6) NO₃-N

濃度・負荷量ともNO₂-Nと同様な傾向を示しており、家庭排水等の影響が認められる。また、河川22で約12ppmの高濃度が観測されている。

(7) T-N

まず濃度に関してみると、無機栄養塩類同様、グループⅢが他のグループに比べ非常に高くなっており、最大値は12ppm以上を取っている。しかしながら、負荷量に関してはグループⅢがやや大きいものの、グループⅠ・Ⅱの合計とほぼ同様であり、T-Nに関しては家庭

排水の影響と農地の影響が同程度であるといえる。

(8) PO₄-P

濃度・負荷量とも図中に示す平均値ではグループⅢが高くなっている。しかしながら、個々の河川では値が非常にばらついている。この原因は、PO₄-Pが土粒子などに吸着、結合しやすい性質を有しているため、排水路内に一時的に堆積している土砂等の流入に影響されたと考えられ、その結果に時間的・場所的変動が激しくなっているものと推定される。

(10) T-P

全体的に、上述したPO₄-Pの濃度と比べると、高濃度であり、有機リンの占める割合がほとんどであることがわかる。また、流量が比較的大きい12月が大きくなっており、グループⅠなどでは流入土砂の影響を強く受けているものと考えられる。なお、12月11日は降雨後の測定で、他の観測日に比べて流量がやや多い。

3 底泥からの栄養塩の溶出に関する室内実験

底泥からの栄養塩の溶出負荷は、河川流入負荷とともに水質悪化の主要因であり、河川から流入してくる栄養塩を削減したとしても、すでに底泥に多量の栄養塩が蓄積されていれば、この底泥の栄養塩の溶出の影響で水質が回復しない可能性がある。そこで、湖山池における底泥からの溶出量を把握するために、現地底泥の間隙水の水質を調査するとともに、その底泥から溶出してくる栄養塩類の量を室内における溶出実験を行い検討する。

3-1 底泥間隙水の水質調査

調査地点は、図-1に示す測点ⅠからⅥで、9月5日、11月25日の2日間行った。試料の底泥採取方法は、内径3cm、長さ120cmの透明のパイプを底泥に打ち込み、上層から0cm~10cm、10cm~20cm、20cm~30cm、を上、中、下層と分けて底泥を採取した。つぎに、採取した底泥を3000rpmで30分間、卓上小型遠心分離器(卓上小型遠心分離器2010 KUBOTA)にかけて間隙水を得た。測定項目は、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、T-N、T-Pであり、測定結果を測点毎に表-2に示す。

(1) NH₄-N

各測点において、無機窒素(DIN)の大部分をNH₄-Nが占めているのがわかる。また、2回の測定結果を比較すると、夏季の方が濃度が高くなっている。

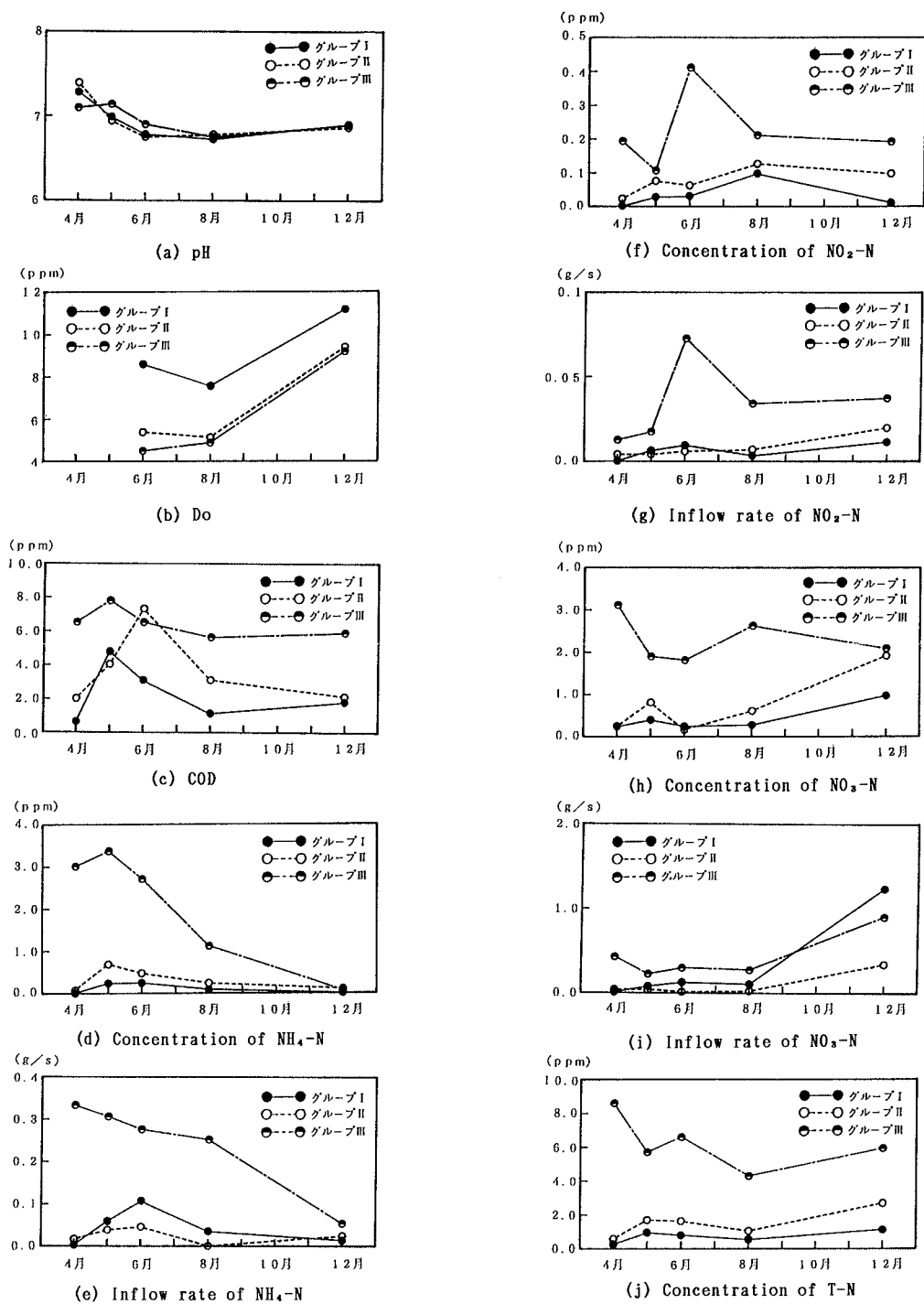
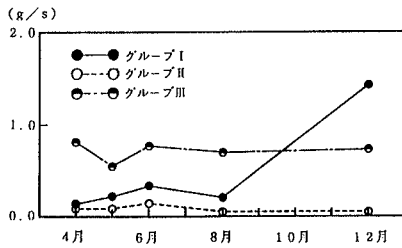
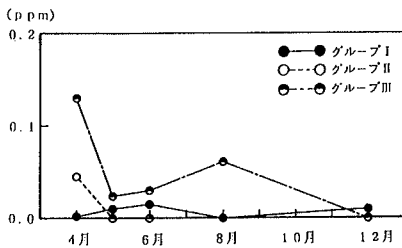
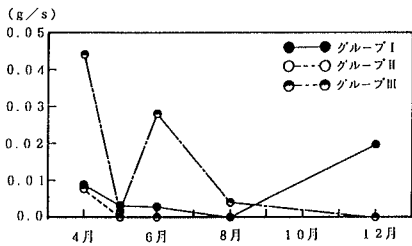
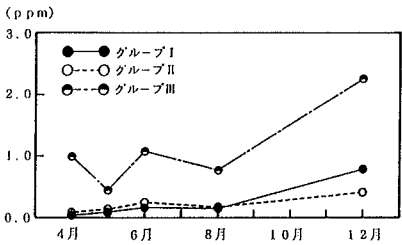


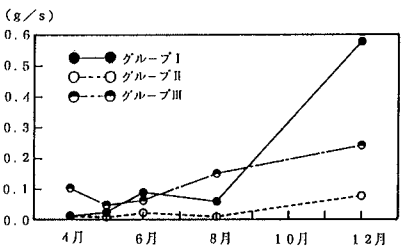
Fig. 2 Water quality of inflow rivers.



(k) Inflow rate of T-N

(l) Concentration of PO₄-P(m) Inflow rate of PO₄-P

(n) Concentration of T-P



(o) Inflow rate of T-P

Fig. 2 Water quality of inflow rivers.

(2) NO₃-N, NO₂-N

NO₃-N, NO₂-NはNH₄-Nに比べ非常に少なく、また、夏季と冬季の違いはあまりみられなかった。

(3) PO₄-P

ほとんど検出されず、最大で0.75 ppmであった。

(4) T-N, T-P

T-Nは下層に行くほど濃度が高くなっているが、季節変化はあまりみられず、ほぼ同濃度である。しかしながら、冬期では有機成分の割合が大きくなっていることがわかる。

T-Pについては、無機リンがほとんど検出されなかったため、ほとんど有機リンであると考えられる。また、場所的变化が大きく、測点IVの濃度が非常に高いことがわかる。

3-2 溶出実験の概要

実験は好気、嫌気状態で温度を変えて4ケース行った。測定項目は、水質に影響のある無機窒素塩類(NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P)である。実験は、図-3に示す高さ58.7cm、縦横それぞれの33.0cmの亚克力容器に、測点IVで採取して底泥を高さ3cmに敷いて、栄養塩のまったくない蒸留水を30l入れて行った。また、嫌気状態の実験は窒素ガスを混入することによってDOを約3ppmに保って行った。水質測定は最初は1時間おきに計5日間測定し、一回の採水は約30mgとした。また、実験は水温の影響を見るために実験室内(約10℃)と恒温室内(約20℃)で行った。

3-3 実験結果及び考察

まず、それぞれのケースの水温、DO、pHの時間的变化を表-3に示す。嫌気状態に設定したケース2、4では、DOの濃度がほぼ3.9 ppm以下を保っており、嫌気状態を示している。また、ケース1、3は好気状態に設定しており、表からもその様子がわかる。pHについては、初期条件では約pH5.0の蒸留水を使用しているが、時間とともにやや高くなっており、実験終了時には好気状態で約pH6.5、嫌気状態ではpH7.0程度で、嫌気状態の方がやや上昇している。

水温においては、ケース1・2(実験室内)では変化がみられないが、ケース3・4(恒温室内)では実験開始の約10℃から約18℃まで徐々に高くなっている。

図-4は各ケースごとに上層、下層のNH₄-Nの時間变化を示したものである。まず、12時間までの図をみ

Table 2 Quality of water contained into mud.

測点I

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	3.50	4.50	5.00	1.25	1.75	2.00
NO ₂ -N	0.25	0.30	0.30	0.03	0.10	0.15
NO ₃ -N	0.00	0.50	0.00	0.75	1.75	0.75
DIN	3.75	5.30	5.30	2.03	3.60	2.90
T-N	11.5	8.50	15.1	4.20	5.70	7.90
PO ₄ -P	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
T-P	1.80	4.80	1.80	0.00	8.70	1.20

(単位: ppm)

測点IV

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	6.00	7.50	14.5	2.25	2.50	2.75
NO ₂ -N	4.50	0.15	0.15	0.00	0.10	0.00
NO ₃ -N	1.00	3.00	2.50	0.25	0.00	2.50
DIN	11.5	10.7	17.2	2.50	2.80	5.25
T-N	12.7	10.9	20.6	6.90	11.8	18.8
PO ₄ -P	0.50	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00
T-P	0.60	1.20	8.40	18.0	15.9	0.30

(単位: ppm)

測点II

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	4.50	6.50	10.5	1.50	1.75	3.00
NO ₂ -N	0.50	0.10	0.15	0.00	0.00	0.00
NO ₃ -N	0.50	0.00	0.50	1.25	0.50	0.50
DIN	5.20	5.60	11.2	2.75	2.25	3.50
T-N	7.30	10.9	13.3	3.90	5.40	7.60
PO ₄ -P	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
T-P	4.20	4.20	1.20	0.90	0.00	2.40

(単位: ppm)

測点V

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	5.00	2.50	2.00	1.25	1.00	1.00
NO ₂ -N	0.45	0.15	0.40	0.30	0.18	0.48
NO ₃ -N	1.50	1.00	1.50	3.50	3.00	2.50
DIN	6.95	3.65	3.90	5.05	4.18	3.98
T-N	2.54	8.50	13.3	13.0	10.0	9.10
PO ₄ -P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T-P	0.00	0.00	0.00	2.40	2.10	4.50

(単位: ppm)

測点III

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	5.50	9.50	18.0	5.50	3.75	5.50
NO ₂ -N	0.10	0.00	0.25	0.00	0.00	0.08
NO ₃ -N	1.50	0.50	1.50	1.00	0.00	0.00
DIN	7.10	10.0	19.8	6.50	3.75	5.58
T-N	10.9	13.3	24.8	12.1	14.2	20.6
PO ₄ -P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T-P	0.60	0.00	0.00	0.00	4.20	8.10

(単位: ppm)

測点VI

	9月5日			11月25日		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
NH ₄ -N	6.00	6.50	3.50	1.50	1.75	1.75
NO ₂ -N	0.10	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15
NO ₃ -N	1.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.25
DIN	7.10	9.10	3.75	1.65	1.80	2.15
T-N	15.8	9.70	7.30	5.40	5.40	6.10
PO ₄ -P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T-P	0.00	0.00	4.80	8.10	6.00	7.20

(単位: ppm)

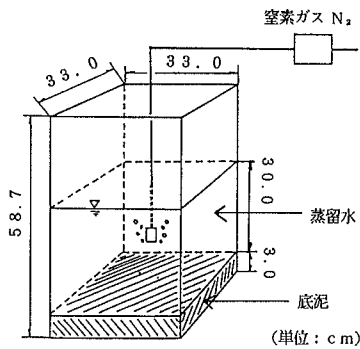


Fig.3 Equipment of elution test.

ると各ケースともNH₄-Nの増加がみられるが、好気と嫌気ではやや異なっている。すなわち、好気状態のケース1・3では、勾配の小さい直線的な増加を示しているが、嫌気状態のケース2・4では指数的に増加している。しかしながら、各ケースとも12時間ではほぼ同程度となっている。

また、他の無機栄養塩に関してはケース4においてNO₂-Nの濃度の増加が観測されたが、それに反比例してNH₄-Nの濃度が減少していることから、NO₂-Nの溶出というよりは溶出したNH₄-Nが硝化作用によってNO₂-Nに変化したものと考えられる。また、それ以外の無機栄養塩の濃度は観測終了時でも0.05 ppm以下であり、以上のことから、顕著な溶出はNH₄-Nのみ

Table 3 Experimental conditions.

CASE 1

経過時間 (hr)	0	5	10	48	120
水温 (°C)	9.8	9.7	9.5	9.2	6.4
pH	5.07	5.63	5.70	5.70	6.66
D o (ppm)	9.4	9.9	9.9	9.4	9.9

CASE 3

経過時間 (hr)	0	5	10	48	120
水温 (°C)	9.8	13.3	15.2	17.8	17.2
pH	5.07	5.43	5.49	6.12	6.50
D o (ppm)	9.4	10.0	10.2	10.3	10.0

CASE 2

経過時間 (hr)	0	5	10	48	120
水温 (°C)	9.8	9.4	9.4	9.0	8.2
pH	5.07	6.37	6.52	7.08	7.08
D o (ppm)	3.0	3.6	3.5	3.1	4.0

CASE 4

経過時間 (hr)	0	5	10	48	120
水温 (°C)	9.8	14.3	15.9	18.2	17.8
pH	5.07	6.57	6.88	7.13	7.33
D o (ppm)	2.8	3.0	2.7	3.4	3.6

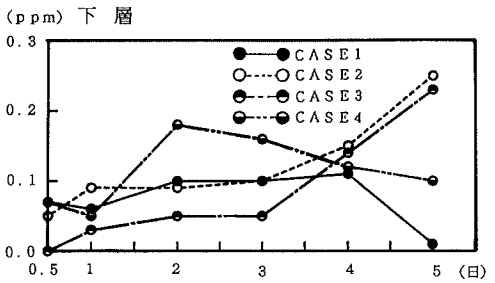
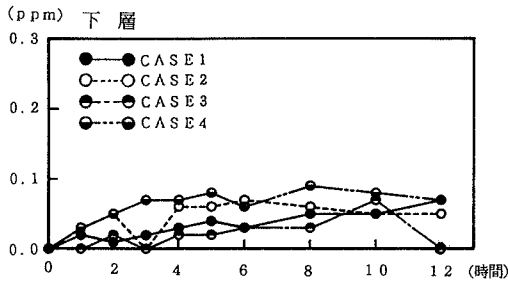
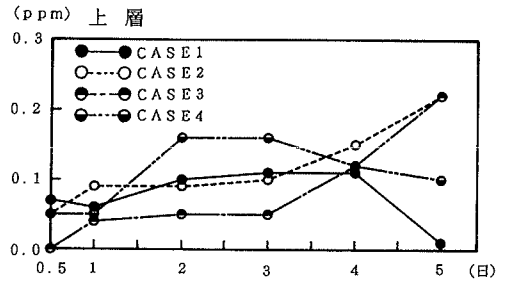
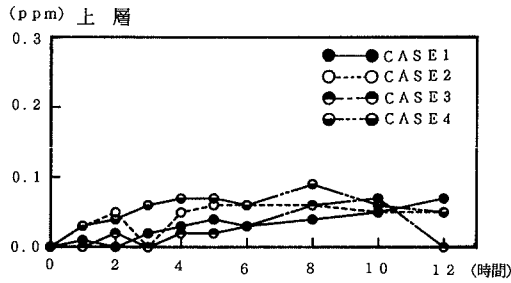


Fig. 4 Time variation of concentration of NH₄-N.

であり、温度・DOの影響は認められなかった。

つぎに、表-4は実験終了後の水質を調べたものであるが、T-NについてみるとNH₄-Nの濃度よりかなり高くなっている。これは、有機窒素の溶出とも考えられるが、表-5に示されている実験前後の底泥間隙水中の

NH₄-Nの濃度差に見合う溶存量が測定されていないことから、微生物の影響と考えられる。すなわち、12時間以降の実験結果をみると、すべてのケースにおいて1~3日後までの間は増加傾向はみられない。これは、ケース4で実験開始2日後硝化作用がみられるように、実

Table 4 Water quality at the end of test.

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
T-N	0.411	0.762	0.505	0.750
T-P	0.024	0.156	0.072	0.000
COD	0.325	0.360	0.180	0.460
濁度	11.00	12.00	6.00	18.00

(単位: ppm)

験開始1日以降では、独立栄養細菌等によって $\text{NH}_4\text{-N}$ が摂取され、有機物化している結果であると思われる。したがって、実験中の有機態の溶出はないものと考え、表-4に示されるT-Nの測定結果の平均値0.6mgが $\text{NH}_4\text{-N}$ として溶出したことになる。

3-4 $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出速度

底泥からの栄養塩の溶出は、間隙水と底泥直上水との間の濃度差による拡散によって起こる。通常この溶出速度は(1)式で算定されているが、式中の拡散係数を評価する必要がある。そこで、今回の実験で得られた結果より、(1)式を用いて $\text{NH}_4\text{-N}$ の拡散係数を逆算する。

$$R = K \cdot (C_s - C) / Z / 2 \quad (1)$$

ここで、R: 溶出速度($\text{g}/\text{m}^2/\text{Day}$)、K: 拡散係数(m^2/Day)
 C_s : 間隙水中の溶存濃度(mg/l)、C: 湖水最下層の溶存濃度(mg/l) Z: 溶出に関与する底泥層厚(m)である。

上述したように、実験終了までに(120時間後)0.6mgの $\text{NH}_4\text{-N}$ が平均的に溶出したと考えると、式(1)より拡散係数 Kは $3.5 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{Day})$ となる。

4 栄養塩収支に関する検討

ここでは、毎日行っている湖山池内の水質調査結果に基づいて、各種栄養塩の湖内溶存量を評価し、上述した河川からの流入量、湖底からの溶出量、および雨からの直接負荷から各種栄養塩の月別栄養塩収支を検討する。そこで、まず各種栄養塩負荷量の算定方法について説明する。

4-1 各負荷量の算定方法

(1) 河川流入負荷

Table 5 Quality of water contained into mud at the initial condition and the end of test.

	含水比	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	DIN	T-N	$\text{PO}_4\text{-P}$	T-P	COD	
実験前	3.42	1.40	0.08	0.30	1.78	6.05	0.70	21.6	11.8	
実験後	CASE1	3.25	0.90	0.06	0.20	1.16	4.48	0.20	2.64	9.55
	CASE2	3.11	1.10	0.20	0.00	1.20	4.84	0.40	11.3	6.15
	CASE3	3.00	1.00	0.20	0.00	1.20	4.84	0.30	2.76	9.55
	CASE4	3.11	0.80	0.20	0.20	1.20	4.72	0.50	7.92	17.3

(単位: ppm)

上述した河川流入負荷量を月単位に換算したもので、測定を行っていない7月、9月、10月、11月においては、測定を行った月の平均値で表した。

(2) 降雨負荷

12月11日の降雨により雨水を得て、水質測定を行った結果を表-6に示す。この雨水が湖内に直接負荷するものとして、以下の方法で各月において定量化を行った。

$$\text{降雨負荷量} = \text{月総降水量} \times \text{湖山池流域面積} \\ \times \text{雨水中の各栄養塩濃度}$$

(3) 溶出負荷

溶出実験結果より算定した。

(4) 流出負荷

流出負荷量は湖山川下流にある水門の日単位で行われる開閉に大きく影響され、負荷量の変動も大きい。このため、栄養塩収支においてこの流出負荷量を用いて検討するのは好ましくない。そこで、湖山池の流域において降水によってもたらされた各月の総水量が、各月の湖内の栄養塩濃度で湖山池から流出するものとして、以下の方法で各月において定量化を行った。

$$\text{流出負荷} = \text{月総降水量} \times \text{湖山池流域面積} \\ \times \text{各月の湖水内の栄養塩濃度}$$

ここで、各月の湖水中の栄養塩濃度は月平均である。

(5) 溶存量

湖山池内の図-1に示している測点A~Dの箇所で見出した各種栄養塩濃度を月平均し、これを月間の湖水中の栄養塩濃度とすると、溶存量は以下の式によって定量化できる。なお、式中の湖水量は湖水位の明確なデータが得られなかったため、季節変化がないものとして2000

Table 6 Water quality of rain.

NH ₄ -N	0.020
NO ₂ -N	0.001
NO ₃ -N	0.150
T-N	0.387
PO ₄ -P	0.000
T-P	0.060
COD	0.480

(単位: ppm)

万m³とした。

溶存量 = 湖水中の栄養塩濃度 × 湖山池の貯水量

得られた結果を表-7に示す。

4-2 栄養塩収支

上記の項目を考慮し、定量化を行った月別の各種栄養塩収支を表-8に示す。表中の溶存変化は溶存量における前月との差である。参考として湖内の内部生産状況を表す平均濁度を示している。また、各種栄養塩の湖内の量的な変化を捉えるため、収支差として以下の方法で算定した。

$$\text{収支差} = \text{流入} + \text{降雨} + \text{溶出} - \text{流出} - \text{溶存変化}$$

(1) DIN

まず、植物プランクトンの栄養源である無機態窒素(DIN)の月別栄養塩収支をみると、負荷では溶出負荷量と河川流入負荷が大きく、降雨による影響は少ないことがわかる。溶出負荷は、溶出実験より算定したもので、NH₄-Nの溶出によるものである。底泥からの溶出は底泥間隙水中の濃度に反映し、今回の測定で明らかに、NH₄-Nは夏季に高濃度を示すことから、それにもなって溶出負荷も夏季に大きな値を示している。その量は河川流入負荷量の約3倍程度になっている。つぎに、収支差をみると全ての月で多量の正值を示している。この収支差のプラス成分は、DINに関しては植物プランクトンによる摂取、沈殿、脱窒による負荷量を表しているが、その値が植物プランクトン量に正比例して

Table 7 Involved nutrients in lake water.

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
DIN	1.74	2.74	2.18	6.63	2.05	1.16	2.70	2.03	6.72
T-N	9.00	11.34	17.43	28.84	15.01	14.06	15.30	16.89	18.12
PO ₄ -P	0.31	0.19	0.02	0.21	0.02	0.12	0.10	0.08	0.12
T-P	4.02	2.26	3.15	14.78	4.79	3.46	2.82	3.75	3.11
COD	47.53	46.79	175.06	551.20	76.10	85.84	80.26	78.52	68.51

(単位: ton/月)

いることから、植物プランクトンによる摂取が主要因であると考えられる。

(2) T-N

まず、流入負荷量に関してみるとDIN同様、溶出負荷量と河川流入負荷量が多いことがわかる。つぎに収支差をみると、DIN同様、正值を示している。これは、植物プランクトンが他の生物に摂取される量と植物プランクトンが死んで沈殿した量に関係しており、そのため生物活動が盛んな夏季に値が大きくなっている。

(3) PO₄-P

まず、負荷では降雨、溶出がないことから、汚濁源は流入のみとなっている。つぎに、収支差をみると7月、9月などで負値を示している。この原因は溶存量の増加に見合うだけの流入負荷量がないためである。本研究では、底泥間隙内の濃度がほとんど無かったために溶出負荷を考慮しなかったが、植物プランクトンの摂取量などを加味すると、ある程度の溶出負荷量があるものと思われ、今後の検討課題である。

(4) T-P

負荷ではPO₄-Pと同様に河川による流入が汚濁源の主要因となっている。収支差でも、湖内の生産活動が活発な7月に大きな負値を示し、8月に大きな正值を示している。この現象も7月に溶存変化に見合う量が流入していないことが原因であり、溶出等によってかなりの量が流入していると考えられる。

5 おわりに

本研究では、湖山池における流入河川の水質を観測し、

Table 8 Budget of nutrients.

DIN負荷量の月別収支

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
流入 負荷	流入	4.57	3.54	7.04	8.14	2.37	2.90	5.84	5.27	7.96
	降雨	0.17	0.10	0.23	0.27	0.09	0.10	0.19	0.17	0.26
	溶出	14.53	17.36	20.47	22.95	23.81	21.40	17.52	13.14	10.82
流出 負荷	湖水流出 (流出)	-0.38 (0.29)	-0.35 (7.92)	-0.65 (2.84)	-2.33 (3.41)	-0.24 (1.15)	-0.15 (3.41)	-0.68 (3.41)	-0.45 (3.41)	-2.24 (4.84)
負荷量差		18.89	20.85	27.09	29.03	26.03	24.25	22.87	18.12	16.80
溶存変化 (溶存量)		+1.00 (1.74)	-0.56 (2.74)	+4.45 (2.18)	-4.58 (6.63)	-4.58 (1.16)	-0.89 (2.70)	+1.54 (2.03)	-0.67 (6.72)	+4.69 (6.72)
収支			+19.85	+27.65	+24.58	+30.61	+25.14	+21.33	+18.79	+12.11
濃度 ppm (湖内生産)		9.5	13.5	50.3	131.9	24.3	16.9	16.0	16.9	12.0

(単位: ton/月)

PO₄-P負荷量の月別収支

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
流入 負荷	流入	0.28	0.02	0.11	0.15	0.01	0.05	0.10	0.09	0.06
	降雨	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	溶出	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
流出 負荷	湖水流出 (流出)	-0.07 (0.29)	-0.02 (7.92)	-0.01 (2.84)	-0.07 (3.41)	0.00 (1.15)	-0.01 (3.41)	-0.02 (3.41)	-0.02 (3.41)	-0.04 (4.84)
負荷量差		0.21	0.00	0.10	0.08	0.01	0.04	0.08	0.07	0.02
溶存変化 (溶存量)		(0.31)	-0.12 (0.19)	-0.17 (0.21)	+0.19 (0.21)	-0.19 (0.02)	+0.10 (0.12)	-0.02 (0.10)	-0.02 (0.08)	+0.04 (0.12)
収支			+0.12	+0.27	-0.11	+0.20	-0.06	+0.10	+0.09	-0.02
濃度 ppm (湖内生産)		9.5	13.5	50.3	131.9	24.3	16.9	16.0	16.9	12.0

(単位: ton/月)

T-N負荷量の月別収支

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
流入 負荷	流入	4.72	3.88	9.10	9.81	2.96	3.50	7.04	6.35	10.82
	降雨	0.38	0.22	0.51	0.61	0.21	0.22	0.44	0.40	0.58
	溶出	14.53	17.56	20.47	22.95	23.81	21.40	17.52	13.14	10.82
流出 負荷	湖水流出 (流出)	-1.99 (0.29)	-1.46 (7.92)	-5.16 (2.84)	-10.13 (3.41)	-1.78 (1.15)	-1.76 (3.41)	-3.86 (3.41)	-3.84 (3.41)	-6.03 (4.84)
負荷量差		17.19	20.20	24.92	23.24	25.19	23.36	21.14	16.05	16.18
溶存変化 (溶存量)		(9.00)	+2.34 (11.3)	+6.09 (17.4)	+11.41 (28.8)	-13.83 (15.0)	-0.95 (14.1)	+1.24 (15.3)	+1.59 (16.9)	+1.23 (18.1)
収支			+17.86	+18.89	+11.83	+39.02	+24.31	+15.90	+14.46	+14.96
濃度 ppm (湖内生産)		9.5	13.5	50.3	131.9	24.3	16.9	16.0	16.9	12.0

(単位: ton/月)

T-P負荷量の月別収支

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
流入 負荷	流入	0.58	0.38	1.27	1.64	0.68	0.58	1.18	1.16	2.58
	降雨	0.06	0.03	0.08	0.09	0.00	0.03	0.07	0.06	0.09
	溶出	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
流出 負荷	湖水流出 (流出)	-0.89 (0.29)	-0.29 (7.92)	-0.93 (2.84)	-3.19 (3.41)	-0.57 (1.15)	-0.43 (3.41)	-0.71 (3.41)	-0.85 (3.41)	-1.04 (4.84)
負荷量差		-0.25	0.12	0.42	-3.46	0.11	0.18	0.54	0.37	1.63
溶存変化 (溶存量)		(4.02)	-1.76 (2.26)	+0.89 (3.15)	+11.63 (14.8)	-3.99 (4.79)	-1.33 (3.46)	-0.64 (2.82)	+0.93 (3.75)	-0.64 (3.11)
収支			+1.88	-0.47	-15.23	+10.10	+1.51	+1.18	-0.56	+2.27
濃度 ppm (湖内生産)		9.5	13.5	50.3	131.9	24.3	16.9	16.0	16.9	12.0

(単位: ton/月)

栄養塩の河川流入負荷量を評価するとともに、底泥からの溶出負荷量を実験的に検討し、湖山池における栄養塩収支の特徴について明らかにした。本研究で得られたことを要約すると以下のようである。

(1) 無機態窒素に関しては、家庭からの排水等の影響で、大学周辺の市街地から流入する河川の負荷量が大きい、全窒素に関しては生活排水等と農業排水等の影響はほぼ等しくなっている。また、農耕地の多い河川では、農耕期の5、6月に施肥が行われるため、濃度・負荷量が増加する現象が認められた。

(2) 底泥間隙水中の栄養塩濃度に関しては、窒素ではNH₄-Nが主成分であり、水温に比例して夏季に高濃度を示すことがわかった。また、リンでは有機リンが主成分であり、無機リンはほとんど検出されなかった。

(3) 底泥からの栄養塩の溶出実験の結果、今回の実験範囲では水温および溶存酸素の影響は認められず、無機栄養塩の中でNH₄-Nの溶出が顕著であることがわかった。また、その実験結果から溶出に対する拡散係数Kを

評価し、 $3.5 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{Day})$ を得た。

(4) 流入河川負荷量、底泥からの溶出負荷量と湖水内の溶存量変化などから湖山池における栄養塩収支を検討した結果、窒素では流入負荷に関して溶出負荷量が河川流入負荷の3倍程度で、溶出負荷の影響が大きいことが認められた。また、リンに関しては、河川流入負荷量だけでは夏季の溶存量の増加を説明できず、溶出負荷を考慮する必要があることがわかった。

(5) 以上のように、湖山池の場合底泥からの溶出量の影響がかなり大きいことが示されたが、底泥の特性が湖内で場所的に異なっていることも考えられ、今後、溶出実験の方法あるいは実験条件を再検討するとともに、底泥の場所的变化を考慮した実験を行い、溶出負荷量を評価する必要があると考えられる。