

芹川ダム貯水池における富栄養化機構について*

佐藤 裕一** 佐々木 清***
牧 克年**** 山崎 信之****

1. はじめに

近年瀬戸内海など閉鎖性の海域と並んで、各地の湖沼でも水質汚濁と赤潮発生が社会問題となっている。本県では大分川水系芹川に位置している芹川ダム貯水池において、同様の現象が見られるようになった。芹川ダムは昭和31年に竣工して以来30年以上経過しており、その貯水池の主な諸元は、湖面積 1.35 km²、有効貯水量 19,900 千 m³、流域面積 118 km² であり、主に発電と洪水調節に利用されている。

本調査は、湖沼等の富栄養化防止の観点にたつて、水質汚濁に主導的役割を果たしている物質の究明など対策の基礎となる資料収集のために、昭和62年度から

行っている。昭和62年度から63年度にかけて基礎的湖沼環境調査および制限栄養塩調査を行ったので報告する。

2. 調査の概況

2・1 基礎的湖沼環境調査

2・1・1 調査地点

図1に調査地点（本川-9、流入、流出）を示す。

2・1・2 調査時期

昭和62年 9月16日～17日、11月18日～19日

昭和63年 2月24日～25日、6月27日～28日

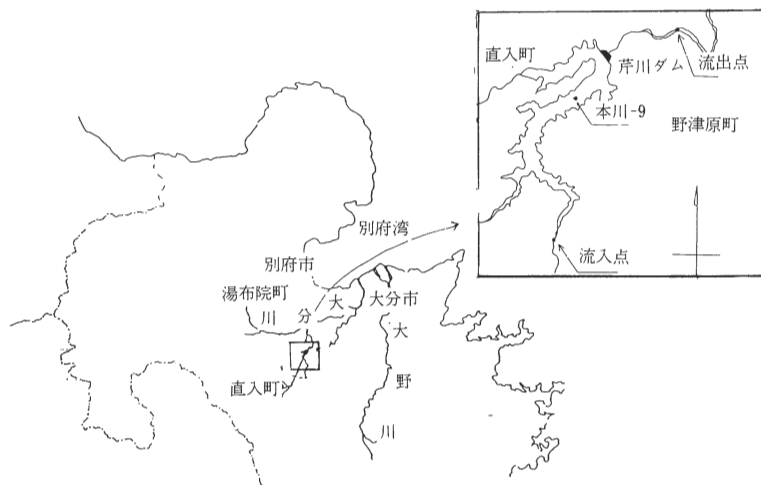


図1 調査地点図

*Studies on the Mechanism for Eutrophication in Serikawa Dam

**Yuichi SATO (大分県公害衛生センター) Oita Prefectural Institute of Health and Environment

***Kiyoshi SASAKI (大分県保健環境部公害規制課) Pollution Control Division, Health Environmental Department, Oita Prefecture

****Katutoshi MAKI, Nobuyuki YAMASAKI (大分県大分保健所) Oita Health Center, Oita Prefecture

2・1・3 調査項目

水質：水温、pH、DO、BOD、COD、SS、Cl⁻、Chl-a、一次生産量、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-N、PO₄-P、T-P、TOC

底質：強熱減量、T-N、T-P、T-Fe、T-Mn

2・2 制限栄養塩調査

2・2・1 調査地点

図1に調査地点（本川-9）を示す。

2・2・2 調査時期

昭和63年9月29日、12月7日

平成元年2月21日、7月31日

2・2・3 調査項目

水質：BOD、MBOD、MBOD-P、MBOD-N

2・3 分析方法

表1に分析方法を示す。

3. 結果及び考察

3・1 基礎的湖沼環境調査

3・1・1 富栄養化度

湖沼が富栄養化するにつれて生ずる主要な変化は、水中のT-N、T-P、Chl-aの増加、透明度の減少、深水層におけるDOの減少等である。これらの各項目相互の関係を考慮し、湖沼生態系の栄養度を評価する方法がいくつかあるが、ここではVollenweiderの栄養区分¹⁾および修正Carlson指数²⁾によって評価を行った。表2に水質調査結果を、表3にVollenweiderの栄養区分を示す。Vollenweiderの栄養区分ではT-Pで見ると中-富栄養、無機態窒素で見ると中栄養に位置していた。

修正 Carlson 指数については、

$$TSI(\text{透明度}) = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln(\text{透明度})}{\ln 2.5} \right) \\ = 54.2$$

$$TSI(\text{Chl-a}) = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln(\text{Chl-a})}{\ln 2.5} \right) = 56.6$$

$$TSI(\text{T-P}) = 10 \times \left(2.46 + \frac{6.71 + 1.15 \ln(\text{T-P})}{\ln 2.5} \right) \\ = 62.9$$

表 1 分 析 方 法

項 目		測 定 方 法
水 素 イ オ ン 濃 度	pH	日本工業規格K0102（以下、この表において「規格」という。）12.1に定める方法
溶 存 酸 素	DO	規格32に定める方法
生物化学的酸素要求量	BOD	規格21に定める方法
化学的酸素要求量	COD	規格17に定める方法
浮 遊 物 質 量	SS	環境庁告示第59号（以下、この表において「告示」という。）付表6に掲げる方法
有 機 炭 素	TOC	規格22に定める方法
クロロフィル a	Chl-a	ストリックランド・アンド・パーソン法
アンモニア態窒素	NH ₄ -N	海洋観測指針8.8.2.(4)に準じる方法
亜硝酸態窒素	NO ₂ -N	海洋観測指針8.8.2.(5)に準じる方法
硝酸態窒素	NO ₃ -N	海洋観測指針8.8.2.(6)に準じる方法
全 窒 素	T-N	告示付表7に掲げる方法
磷酸態磷	PO ₄ -P	海洋観測指針8.8.2.(2)に準じる方法
全 磷	T-P	告示付表8に掲げる方法
塩化物イオン	Cl ⁻	日本工業規格K0101 32.2に定める方法
溶解性鉄	S-Fe	規格57.2に定める方法
溶解性マンガン	S-Mn	規格56.2に定める方法
水分含有率	—	環境庁通達「底質調査法について」に準じる方法
強熱減量	—	環境庁通達「底質調査法について」に準じる方法

表 2 水質調査結果

単位：Chl-aはmg/m³その他はmg/l

水深	0m			10m			20m		
	最小～最大	平均	標準偏差	最小～最大	平均	標準偏差	最小～最大	平均	標準偏差
水温	7.8～23.2	16.9	5.6	7.5～20.5	15.2	4.9	7.0～19.6	14.4	4.5
pH	8.3～9.5	8.7	0.4	7.8～8.3	8.1	0.1	7.6～8.1	7.9	0.2
DO	8.6～14.7	11.5	2.0	7.5～12.4	9.3	1.5	4.4～11.3	8.4	1.9
BOD	1.5～11.5	3.9	3.1	0.3～2.5	1.3	0.4	0.6～1.4	1.1	0.4
COD	2.7～14.3	5.4	3.1	1.5～3.5	2.6	0.6	1.6～2.9	2.2	0.4
SS	3.1～31.8	8.1	7.3	1.5～14.7	5.6	4.0	2.2～12.8	6.4	3.0
Chl-a	2.4～321	34.6	69.1	0.8～12.3	4.0	2.6	0.5～3.7	1.8	0.8
NH ₄ -N	0.002～0.073	0.029	0.021	0.006～0.18	0.048	0.042	0.014～0.13	0.063	0.038
NO ₂ -N	0.004～0.008	0.007	0.001	0.005～0.017	0.010	0.004	0.001～0.016	0.007	0.005
NO ₃ -N	0.14～0.36	0.25	0.077	0.17～0.56	0.43	0.15	0.15～0.69	0.46	0.18
T-N	0.37～1.5	0.68	0.30	0.28～0.88	0.61	0.18	0.35～0.88	0.64	0.20
PO ₄ -P	0.005～0.007	0.005	0.001	0.005～0.008	0.006	0.001	0.005～0.014	0.008	0.003
T-P	0.021～0.19	0.062	0.049	0.017～0.072	0.036	0.017	0.016～0.075	0.040	0.016
TOC	1.5～11.6	4.0	3.1	0.8～2.2	1.4	0.5	0.7～2.0	1.2	0.4

表 3 Vollenweider の栄養区分

栄養状態	総リン (mg/m ³)	無機態窒素 (mg/m ³)
1 極貧栄養	< 5	< 200
2 貧-中栄養	5- 10	200-400
3 中 栄養	10- 30	300-650
4 中-富栄養	30-100	500-1,500
5 富 栄養	> 100	> 500

であり、各値は60付近であることから、やや富栄養化している状況であった。

3・1・2 物理的環境（水温、DO 及び底質）

図2のA、Bに水温及びDOに関する鉛直方向の状況を示す。水温については、各期とも下層へ行くに従って徐々に低くなっていったが、6月期には水深10m以浅の部位を境に弱い成層が形成されていた。DOについても各期とも下層へ行くに従って低くなっていったが、10m層及び20m層は、6.6～11.6 mg/l（期別平均）で、貧酸素状態ではなかった。

底泥については、水分率（65.0～74.5%）及び強熱減量（17.9～21.1%）の数値から判断すると、有機物が比較的多い軟泥の状態であると推察された。

3・1・3 一次生産量

表4に一次生産量（総生産量）の状況を示す。一次生産量は、0m層では1.6～5.5 mgO₂/l・d（平均3.0

mgO₂/l・d）であったが、10m以深は補償深度を超えるため生産は行われていなかった。時間帯で見ると日照の強い10～14時の間に平均して1日の生産量の43%の生産が行われていた。

3・1・4 水質汚濁（COD）

図2のCにCODに関する鉛直方向の変化を示す。これによると、平均で表層は10m層に比べ2倍程度高く10m層と20m層はほぼ同じ値であった。また、2月期及び6月期の表層は特に高く、これは生産層でのプランクトンの増殖活動によるものと思われる。表5に流入点、貯水池及び流出点のCOD値を示す。各期とも0m層は流入点より濃度レベルが高く、内部生産された量は平均して3.5 mg/lで流入濃度の1.8倍であった。

3・1・5 栄養塩類（NH₄-N、NO₃-N、PO₄-P）

図2のD、E、Fに赤潮発生に係わる無機栄養塩の

表 4 一次生産量（総生産量）の状況 (mgO₂/l)

区 分	10~14時	14~日没	日没~日の出	日の出~10時	日 間 値	
62年 9月	0 m	0.7	0.3	0.0	0.6	1.6
	10m	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	0
11月	0 m	0.5	0.2	0.1	1.9	2.7
	10m	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	0
63年 2月	0 m	1.1	0.3	0.4	0.3	2.1
	10m	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	0
6月	0 m	2.9	1.0	0.1	1.5	5.5
	10m	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	0
平均 値	0 m	1.3	0.5	0.1	1.1	3.0
	10m	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	0

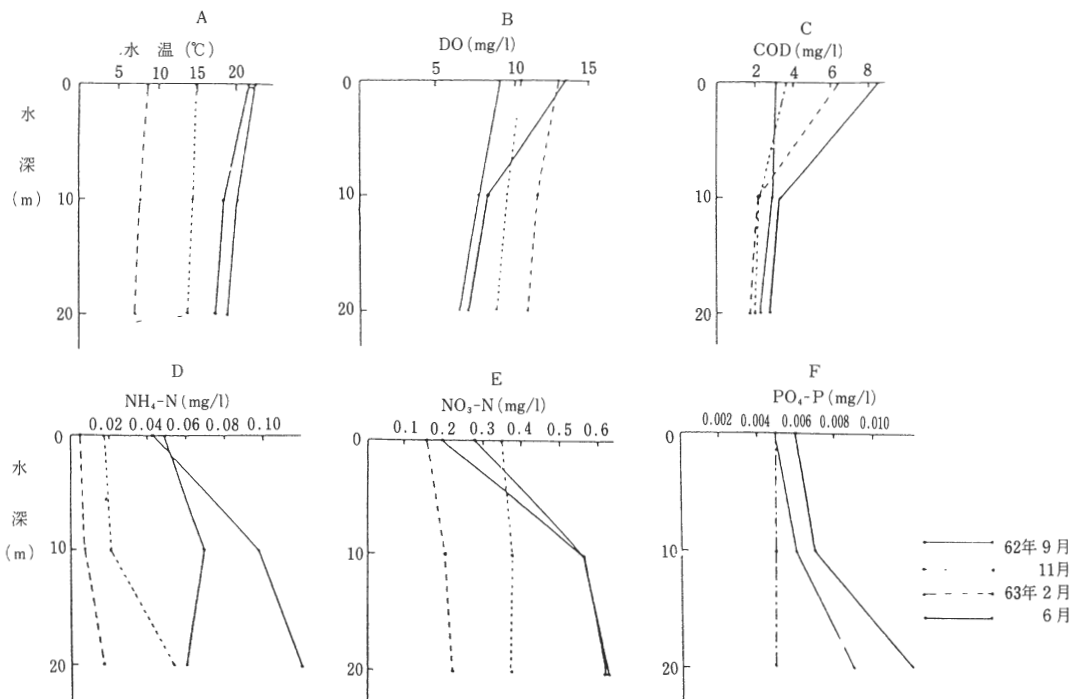


図2 水質の鉛直方向変化

表 5 CODに関する流入点貯水池及び流出点の状況 (mg/l)

区 分	62年9月	11月	63年2月	6月	平均値	
流 入 点	2.5	1.3	1.7	2.1	1.9	
貯水池 (本川-9)	0 m	3.1	3.7	6.4	8.4	5.4
	10m	2.9	2.2	2.1	3.3	2.6
	20m	2.3	2.0	1.8	2.7	2.2
流 出 点	2.3	2.1	2.4	2.9	2.4	

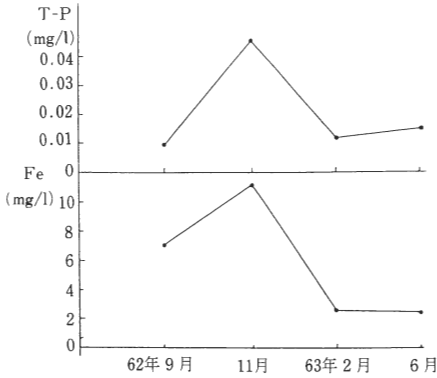


図 3 底泥間隙水中の栄養物質の状況

鉛直方向の変化を示す。NH₄-N, NO₃-N 及び PO₄-P とともに概ね下層にいくほど高くなっていった。とくに、9月期と6月期の成層期はこの傾向が強く現われた。これは、底泥からの栄養塩の供給及び生産物の沈降とその分解等が行われた結果と思われる。

3・1・6 底泥間隙水中の栄養物質 (T-P 及び T-Fe)

図 3 に底泥間隙水中の T-P 及び T-Fe の期別変化を示す。T-P と T-Fe は同じような挙動を示し、両物質とも11月期が最も高濃度であった。これは、成層期に入り P と Fe の溶出が始まり循環期にあたる11月頃まで間隙水中に蓄積される結果、高濃度になるのではないかとと思われる。

3・2 制限栄養塩調査

図 4 に MBOD 試験³⁾の結果を表 6 に MBOD 法に用いる添加液の組成を示す。MBOD 値の水深別の違いを見ると2月の調査では表層と20m層で4倍程度の差が見られたが、その他の月は有意な差は見られなかった。また、MBOD 値、MBOD-P 値及び MBOD-N 値の関係は

$$MBOD \approx MBOD-P < MBOD-N$$

となっている。MBOD-N については、とくに、2月の表層が高くなっているが、これは調査日の3~4日前に40~50mmの降雨があり、栄養塩(主にN)の流

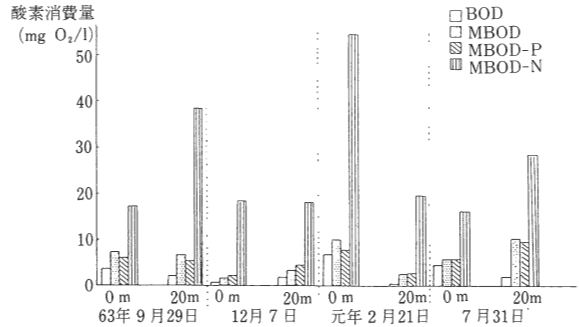


図 4 MBOD 試験結果

表 6 MBOD法に用いる添加液の組成

区 分	添加液の組成 (g/100ml)
MBOD	グルコース 2
MBOD-N	CaCl ₂ · 2H ₂ O 0.7, FeEDTA 0.01, KH ₂ PO ₄ 0.33, グルコース 2, MgSO ₄ · 7H ₂ O 2
MBOD-P	CaCl ₂ · 2H ₂ O 0.7, FeEDTA 0.01, KNO ₃ 3.8, グルコース 2, MgSO ₄ · 7H ₂ O 2

入があったためではないかと思われる。

以上のことから、本水質はリンが制限栄養塩になっていると思われる。

4. ま と め

本調査は芹川ダム貯水池における富栄養化機構解明のための基礎調査であり、富栄養化に関する全体像を把握することに主眼をおいた。

得られた成果は次のとおりである。

1) 湖沼生態系の栄養度については、Vollenweider の栄養区分及び修正 Carlson 指数によるとやや富栄養の状態にあると判断された。

2) 水質汚濁については、0m層では大部分内部生産性の要因、20m層ではほとんど非内部生産性の要因が支配していた。非内部生産性の要因は、0m層は

一次汚濁, 10 m 及び 20 m 層は, 生産物の沈降とその分解に関連するものが考えられる。

3) COD についてみると 0 m 層ではその大部分は植物プランクトンであり, 内部生産分は非内部生産分(一次汚濁)の1.8倍のウエイトをもっていた(流入水と貯水池の比較)。

4) 底泥間隙水中の T-P 及び T-Fe は, 底泥からの溶出により循環期に入る11月頃に最も高濃度になり, それ以後水層に拡散していくため徐々に濃度が低下していくと思われる。

5) MBOD 値は全般に低く, これは生物利用可能な栄養塩が少ないことを意味しており, 藻類を増殖させ

る潜在能力は小さいと思われる。また, MBOD 試験の結果 $MBOD \approx MBOD-P < MBOD-N$ の関係になっており, リンが制限栄養塩であることがわかった。

—引用文献—

- 1) Vollenweider, R. A.: Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, OECD, Paris, 1968
- 2) 相崎守弘, 大槻 晃, 福島武彦, 河合崇欣, 細見正明, 木村浩爾: 修正カルソン富栄養化状態指標の日本湖沼への適用と他の水質項目との関係, 国立公害研究所研究報告第23号, pp. 13-31, 1981
- 3) 中本信忠: 水中の生物利用可能栄養物質量の新しい水質評価法, 水道協会雑誌, Vol. 52, No. 12, pp. 14-28, 1983