

伊岐佐ダムにおける栄養塩類の挙動について (第1報—1)

北川信吉 庄野節子 野口秀憲 高橋秋彦 古川博輝

Nobuyoshi Kitagawa Setsuko Shono Hidenori Noguchi
Takahashi Akihiko Hiroki Furukawa

要旨

伊岐佐ダムの流入水・放流水・各水深の栄養塩類を全年で調査し、これに過去の理化学試験結果と生物調査とを合わせ、降雨との関わりについて解析を行った。その結果、ダムは6月から11月にかけて年1回循環型の温度成層を形成し、この時期の降雨量と日射量のバランスにより藻類の異常発生が起こることが認められた。また、ダム底層からの影響について考察した結果、底層の栄養塩類が上層へ供給され、藻類の異常発生に影響することが考えられた。

キーワード：栄養塩類、非点的汚染源、降水量、藻類数、温度成層、底泥

はじめに

公共用水域における窒素・リン汚染に関しては、特定汚染源（規制対象事業場）に対する排水の規制や各種水質汚濁防止対策の推進により一定の成果をあげてきた。

しかしながら、山林・田畑などの非点的汚染源に対しては規制対象外であり、中にはほとんどが山林などの自然系負荷のみであるにも関わらず改善の兆しがみられない河川・湖沼もある。

環境補助地点である伊岐佐ダムは、現在貯水開始から約20年を経過しているが、近年アオコ発生等が問題になることがあり、富栄養化の進行が懸念されている。

そこで、非点的窒素・リン汚染の実態を把握すること、また、閉鎖性水域における水質汚濁機構を解明することにより栄養塩類の削減対策に資するため、この伊岐佐ダムを平成10年度から3ヶ年計画で詳細調査することとした。

今回は、ダム湖内における現状把握のための通年調査を実施し、また、藻類に影響を及ぼす

栄養塩類の挙動について考察を行ったので報告する。

調査地点及び調査期間

伊岐佐ダムは、佐賀県相知町北東部に位置し、集水面積約9.6 km²、流入はほとんど左伊岐佐川に頼っている。集水域は、高度600mから900mの山に囲まれ、

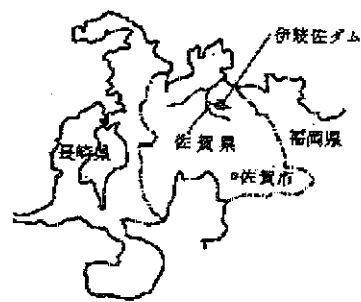


図1 伊岐佐ダム位置図

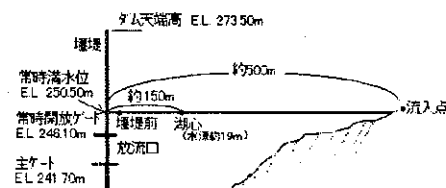


図2 伊岐佐ダム調査地点概要

宅地・農地・荒地約37haを除く殆どは山林であり、多雨期には降水量が流入量に直に反映する地形となっている。以前は、上流に浜玉町の山瀬集落があったが、住民は他の地へ移住し、現在数軒を残すのみとなっている。

調査地点は、この伊岐佐ダムへ流入する左伊岐佐川不動橋、ダムの放流口及びダム湖心である。また、ダム湖心では、各水深(0m、2m、5m、10m、15m)で調査を行った。伊岐佐ダムの位置及びダムの調査地点の概要を図1、2に示す。

調査は、1998年8月から1999年7月まで、晴天の日に毎月1回行った。ただし、測定データは6月についてのみ3日分平均(雨天を含む)として扱った。

調査方法

1) 通年調査

伊岐佐ダムの流入量、放流量に関するデータ^{1,2,3)}を伊岐佐ダム管理事務所から提供を受け、流入点、放流口、湖心における各検体の水質分析は、下記の項目について行った。ただし、*印については、計算値とした。

また、湖内各水深のデータを0m層(0~1m)、2m層(1~3m)、5m層(3~7m)、10m層(7~13m)、15m層(13m以深)の代表値として考察に用いた。

○分析項目

pH、EC、COD(化学的酸素要求量)、SS(懸濁物質)、Chl-a(クロロフィルa)、T-N(全窒素)、DTN(溶存態総窒素)、*DON(容存態有機窒素)、*PON(懸濁有機態窒素)、NO_x-N(硝酸態及び亜硝酸態窒素)、NO₃-N(硝酸態窒素)、NO₂-N(亜硝酸態窒素)、NH₄-N(アンモニア態窒素)、T-P(全リン)、*POP(懸濁有機態リン)、DTN(溶存態総リン)、*DOP(容存態有機リン)、PO₄-P(リン酸態リン)、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、溶解性Fe、

溶解性Mn

(2) 過去データ

当センターにおける伊岐佐ダムの過去の理化学調査結果⁴⁾、(財)ダム水源地環境整備センターで平成2年から平成8年まで実施された生物調査結果⁵⁾及びダム管理事務所にて保管されている降水量・流入量データ³⁾を用い解析を行った。

結果と考察

(1) 通年調査

湖水は、表層水温の上昇に伴い、6月から10月まで鉛直方向で水温差が大きくなり、特に10mから15mに温度躍層ができ成層を形成していた。これに伴い、15m以深では無酸素状態となっていた(図3)。

この無酸素状態の底層では、NH₄-N、PO₄-P、溶解性Fe、溶解性Mn、Mg²⁺、Ca²⁺が他の層に比べ著しく高濃度となっていた(図4-1~4-3)。

各月に採水した流入水・放流水・湖水の理化学検査結果を図4-1~4-3に示す。

流入水のCOD、SS、T-N、DTN、DON、PON、NO₃-N、T-P、DTP、PO₄-Pは、夏季に濃度が高く、冬季は低くなっており、生物活動によるものと考えられる。

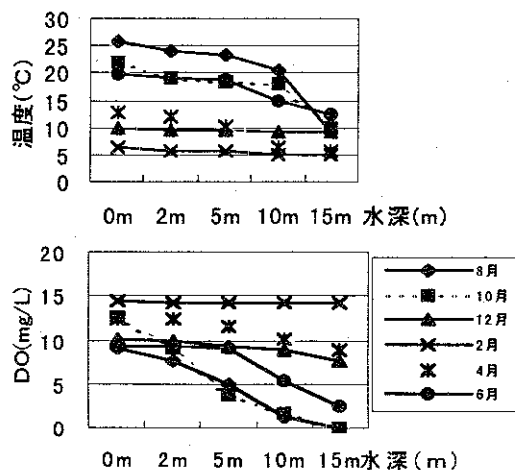


図3 湖内各水深の水温及び溶存酸素

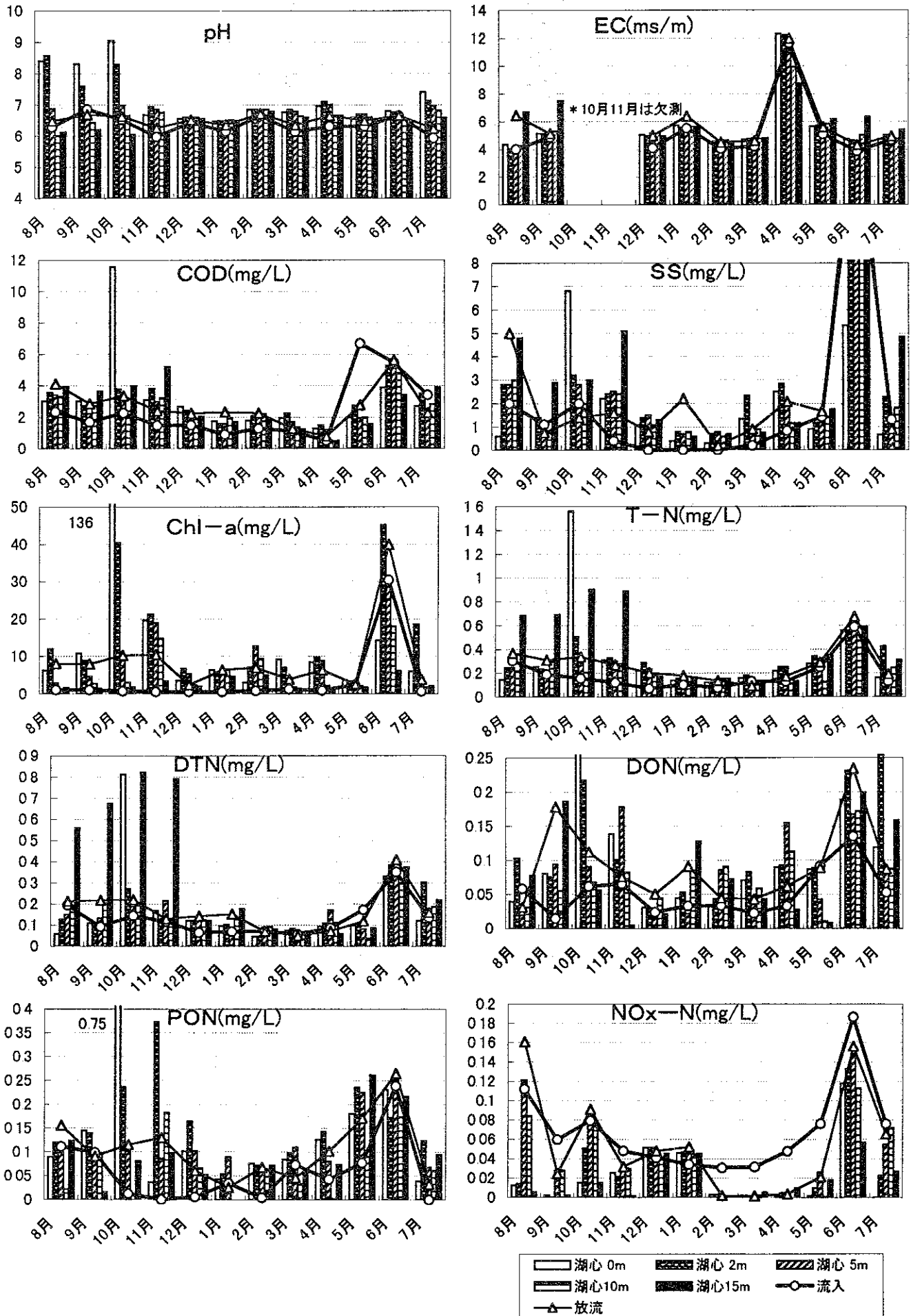


図4-1 通年調査の理化学検査結果(平成10年8月~11年7月)

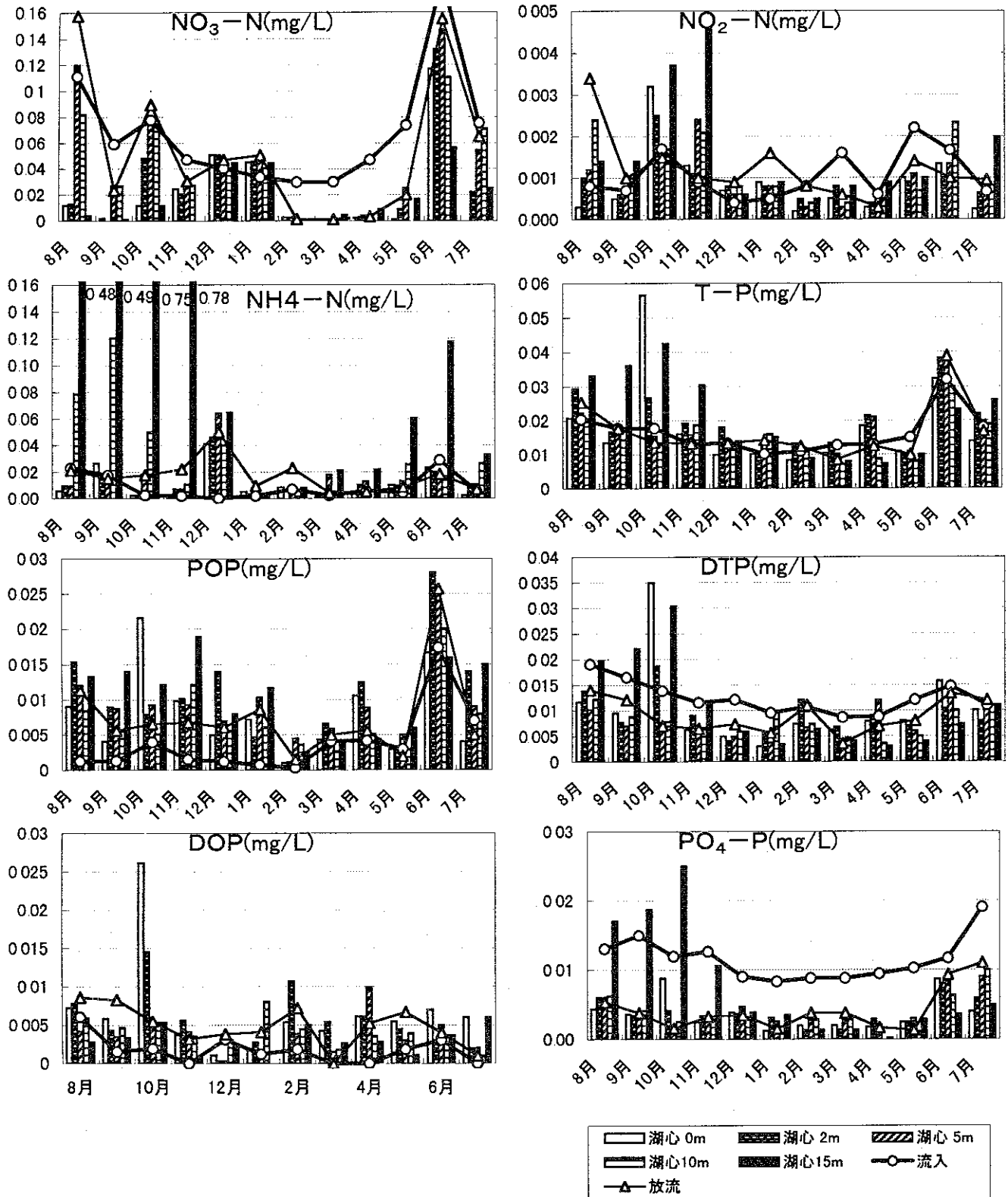


図4-2 通年調査の理化学検査結果(平成10年8月~11年7月)

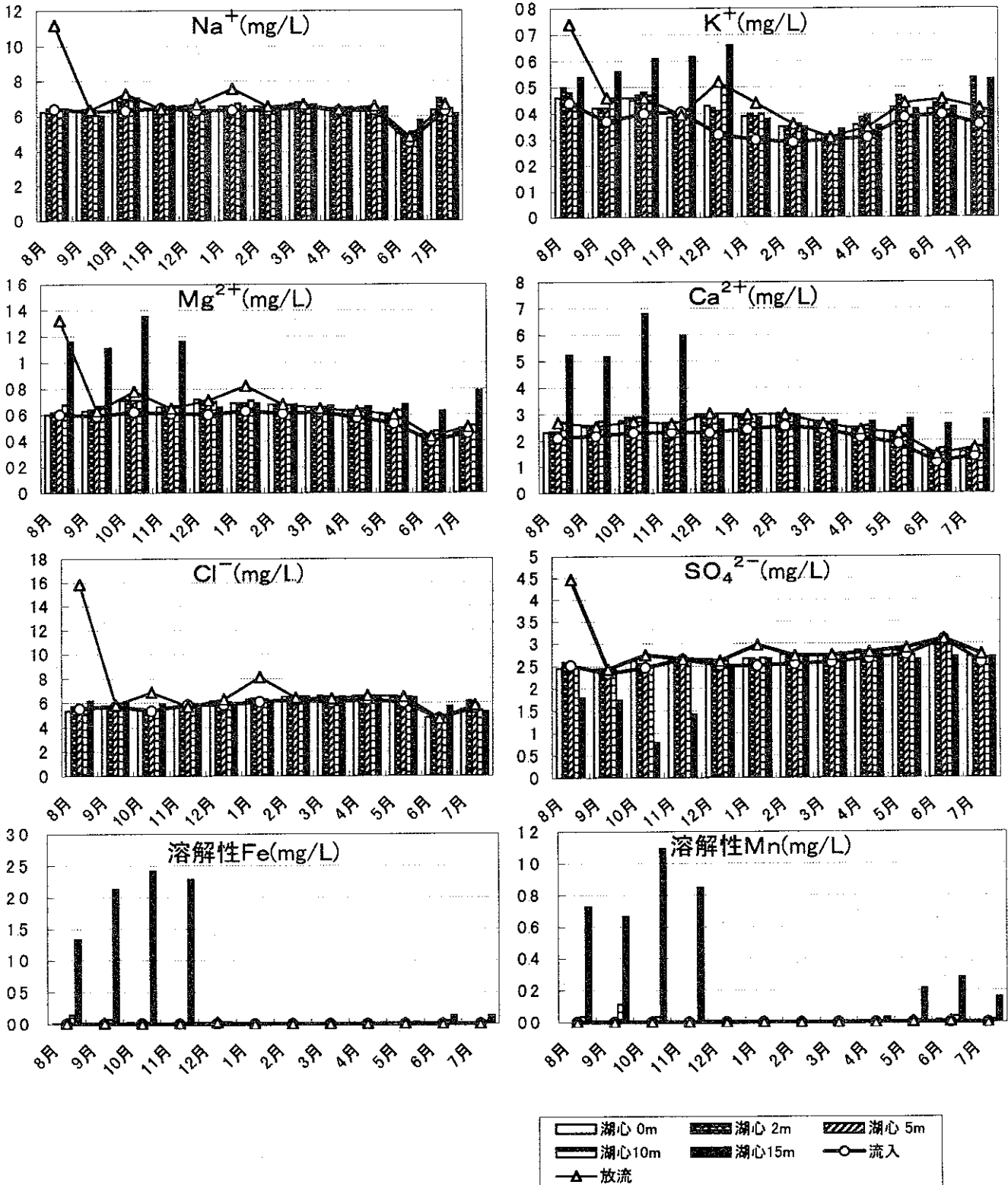


図4-3 通年調査の理化学検査結果(平成10年8月~11年7月)

成層形成期(6月~10月)の湖心上層部(水深0m、2m)では、pHは弱アルカリ性を示し、NO₃-N、NH₄-Nの濃度は、流入水及び湖心中層(水深5m、10m)に比べ低い値であった。藻類の生産活動の活発化によりpHの上昇⁶⁾が見られること、また、NO₃-N、NH₄-Nは、藻類の活動に利用される⁷⁾ことから、成層形成期は、上層部において湖内藻類の活動が盛んであることが推測される。特にアオコの発生が確認された10月14日の表層では、COD、SS、Chl-a、T-N、DTN、DON、PON、NO₂-N、T-P、POP、DTP、DOPの項目において、著しい濃度の上昇がみられた。

また、成層形成期の湖心の水深15mでは、弱酸性を示し、SS、T-N、DTN、NO₂-N、NH₄-N、T-P、DTP、PO₄-P、Mg²⁺、Ca²⁺、溶解性Fe、溶解性Mnは上層部に比べ高濃度となっていた(ただし、アオコが発生した10月14日の表層の一部項目を除く)。そのうち、NH₄-N、溶解性Fe、溶解性Mnは、著しく高い値を示した。10月14日の下層部においては、特に顕著であった。

放流水中のCOD、NH₄-Nは、流入水よりも高い傾向にあり、また、Chl-a、T-Nは常に高い値を示した。逆に、PO₄-Pは、流入水よりも低い値を示した。

全層で水温が一定となった12月には、NH₄-N、Mg²⁺、Ca²⁺、溶解性Fe、溶解性Mnの濃度がどの層でもほぼ一定となった。

Na⁺、Cl⁻は、流入・放流・湖内全層とも年間を通じ、ほぼ一定であった。

(2)降水と湖内藻類数の変動

伊岐佐ダム生物調査(1990~1996)⁸⁾の藻類調査、伊岐佐ダム管理年報の降水量・降水日数・流入量、当センターのクロロフィル-aの過去データを照合したところ、藻類の増加・減少にいくつかの類似点が見られた。

表1に伊岐佐ダムの平成5年から平成8年までの各月降水量を示し、図5に平成5年1月から平成8年10月までの各月降水日数とその期間毎月1回調査されたダム湖内水深0m・2.5m

表1 伊岐佐ダム降水量の変動

降水量(mm)

月	平成4年	平成5年	平成6年	平成7年	平成8年
1	119	80	81	65	50
2	35	61	92	27	45
3	262	106	52	90	168
4	148	167	199	137	102
5	154	162	84	284	106
6	170	339	159	132	428
7	194	385	60	563	136
8	551	630	41	175	366
9	131	333	236	284	84
10	112	60	23	47	68
11	108	129	48	61	64
12	72	57	53	24	99
年降水量	2056	2509	1128	1889	1716

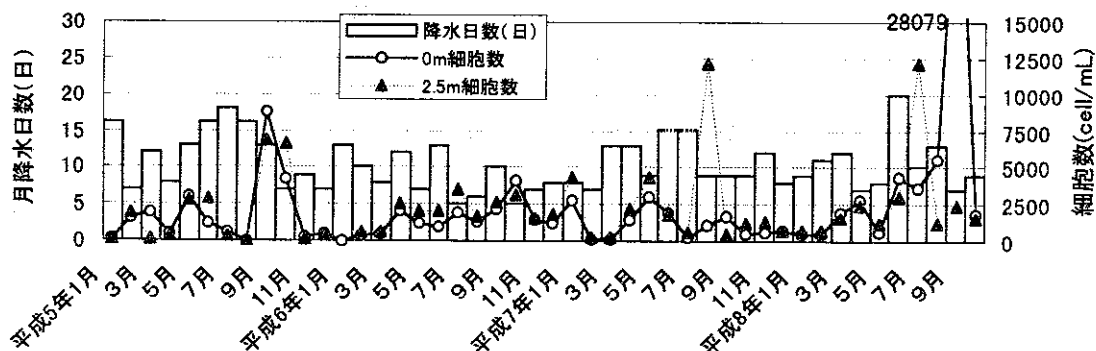


図5 月降水日数及び湖内水深0m・2.5mの藻類細胞数の変化

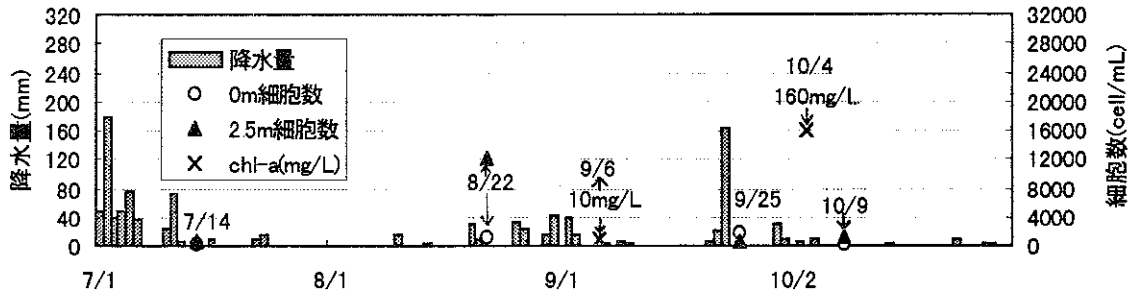


図6 平成7年7月1日～10月31日における日別降水量と湖内藻類細胞数及びクロロフィル a

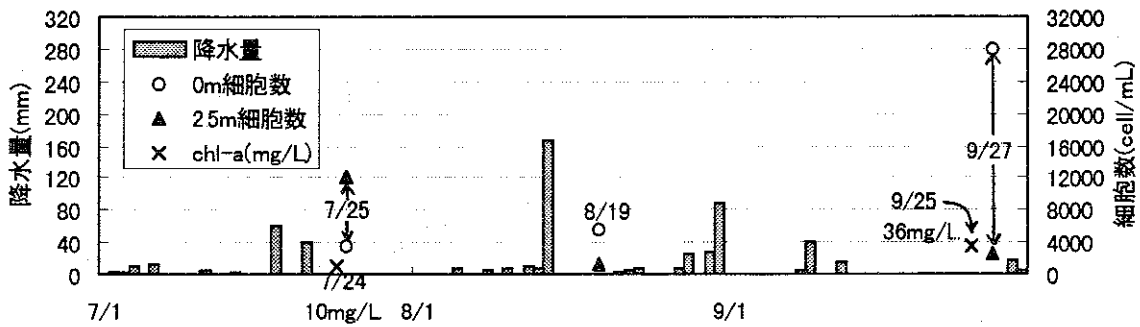


図7 平成8年7月1日～9月31日における日別降水量と湖内藻類細胞数及びクロロフィル a

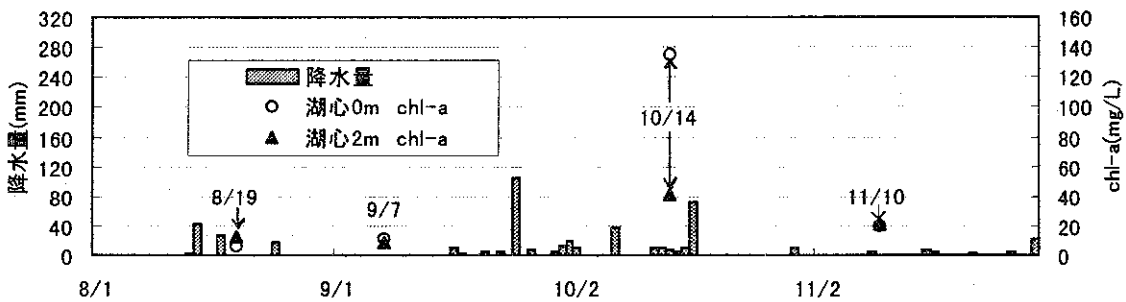


図8 平成10年8月1日～11月31日における日別降水量とクロロフィル a

5 mの藻類細胞数及び当センターのダム堰堤付近のクロロフィル a データを示す。また、図6, 7に平成7年と平成8年の日別降水状況と藻類細胞数及びクロロフィル a のデータを示し、図8に平成10年の日別降水状況と今回調査したクロロフィル a のデータを示す。

図5で降水日が多かった平成5年7月から9月にかけては、藻類の細胞数が少なかった。また、図6にみられるように平成7年7月14日の調査でも細胞数が少なく、この7月上半期は

降水日が多かった。逆に、少雨であった平成6年では、細胞数1000以上4000未満を維持していた(図5)。

これは、降水日が多いと、日照時間が少なく、流入量が多いため滞留日数も短くなり藻類の生産が押さえられると考えられる。また、少雨の場合は、流入量が少ない分滞留日数が長くなり藻類生産には良いが、藻類の異常発生レベルに達するだけの栄養塩が供給されていないのではないかと考えられる。

一方、平成7年7月上半期にダム貯水量の10倍の流入があった後、好天が続いた8月22日には、水深2.5mで藻類細胞数12,115 cell/mLという藻類の異常発生があり、平成7年9月23日から9月24日に貯水量と同程度の流入があった後、比較的流入が安定していた10月4日にはクロロフィル-a 160 mg/Lと高い値を示した(図6)。平成8年でも、7月18日から7月21日まで貯水量と同程度の流入後(図7中には載せていないが6月19日から6月22日までも貯水量の2倍の流入量があった)、好天となった7月25日には水深2.5mで細胞数12,095 cell/mLとなっており、8月14日と8月下旬にそれぞれ貯水量と同程度の流入があった後流入が安定していた9月の27日には、水深0mで細胞数28,079 cell/mLであった(図7)。また、平成10年10月14日のクロロフィル-a 135 mg/Lの前にも類似した状況が見られた(図8)。

このように藻類の異常発生が見られるのは、温度成層が形成される時期に多量の流入水があった後、好天が続く場合であった。これは、藻類の異常発生には、季節・流入量・日照時間が大きく影響していることを示す。

(3) 全窒素の流入量と放流量及び湖内量

次に、平成10年8月から平成11年7月までの全窒素濃度の通年調査結果をもとに、流入全窒素量、放流全窒素量、湖内全窒素量について検討を行った。

図9に各調査日間の流入及び放流全窒素量を、2つの調査日の総窒素濃度の平均に調査日間の流入水量及び放流水量を乗じたものとして示す。これは、調査日間の濃度勾配を一定としていることと降雨日の濃度変化を考慮していないため、絶対的な流入・放流全窒素量を示すものではない。図10に湖内の総窒素量を、各水深の測定濃度に各水深層の貯水量を乗じた総量として示す。また、図11に次月調査日の湖内全窒素量

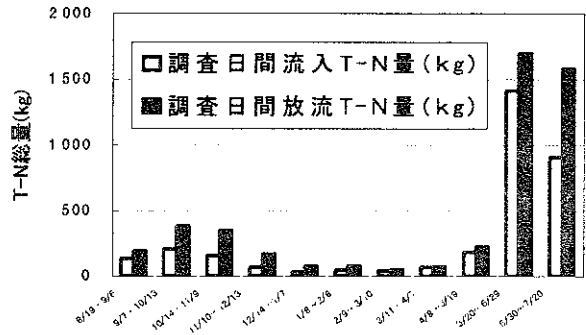


図9 平成10年8月～平成12年7月までの各調査日間流入及び放流 T-N 量計算値

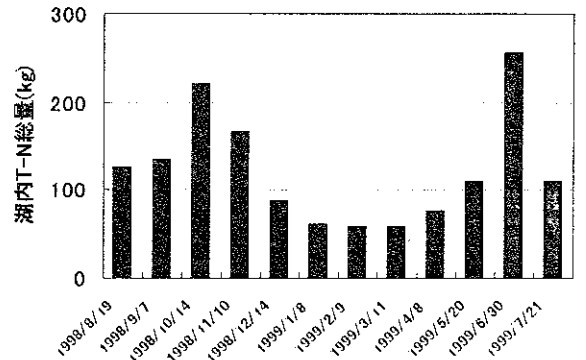


図10 湖内 T-N 量計算値

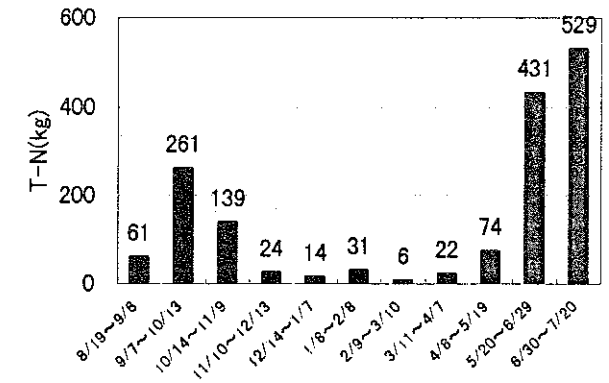


図11 次月調査日湖内 T-N 量+調査日間放流 T-N 量 - (調査日湖内 T-N 量+調査日間流入 T-N 量)

と調査日間の放流全窒素量の和から、その月の調査日の湖内全窒素量と調査日間の流入全窒素量を差し引いたものを示す。

なお、6月については調査日3日分を調査日間毎に同様に計算し、その合計を示す。その中で、6月24日は降雨開始から約10時間を経過し、調査時間までの雨量約40mmであったが、その時の全窒素濃度は、流入水0.87 mg/L・放流水0.63 mg/Lであり、流入水の方が高かった。また、6月25日、6月

30日は、降雨終了から数時間を経過しており、この値は逆転し、放流水の方が高い値を示していた(表2)。これは、降雨量が多い場合は流入濃度が放流濃度を上回り、一定の期間を経た後流入濃度は放流濃度を下回ることを示している。

図9において流入全窒素量より放流全窒素量が多くなっていることと、図11でその差が正であることは、この調査日が6月を除き好天であったということから、湖内全体では、降雨時または降雨終了後一定の期間を除き常に流入水よりも高い全窒素濃度を保っていることが推測される。また、これらの差が大きいくほど湖内の全窒素濃度が高くなり藻類の異常発生に關与しているのではないかと考える。

これらの差の原因として、まず、この調査に降雨時の濁流水から通常の河川水へと全窒素濃度が漸減していくまでの影響⁹⁾を含んでいないためであると考えられるが、逆に言えば、降雨初期の影響がその後も湖内に残っているものと推測される。次に、これらの差が温度成層が形成される時期に特に大きくなっていることは、生物活動が盛んな時期のため、その降雨時流入の影響が大きいことと、図4-2のNH₄-N濃度が水深15mで高濃度となっているように、無酸素状態底層から供給⁹⁾されるていることも考えられる。

(4) クロロフィル a 及び全窒素濃度の経年変化

当センターの過去データ及び今回の通年調査の水深0mデータを合わせ、これを昭和56年から平成6年(クロロフィル a は昭和59年から)と平成7年から11年に分け、測定値の階級別度数を調べてみた(図12, 13)。

過去データではダム堰堤付近の表層、通年調査ではダム湖心の表層データであり地点の違いはあるが、これらの結果を見ると、平成7年から高濃度のクロロフィル a, 全窒素が頻出しているのがわかる。

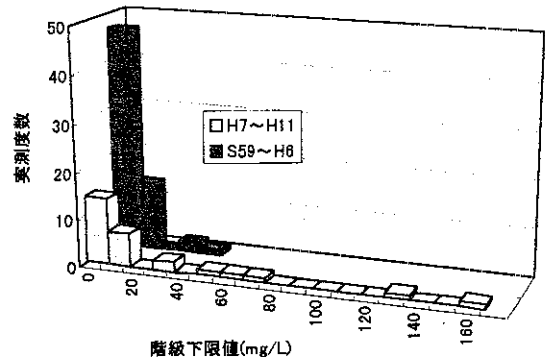


図12 昭和59年～平成6年及び平成7年～11年までのクロロフィル a 測定値の度数分布

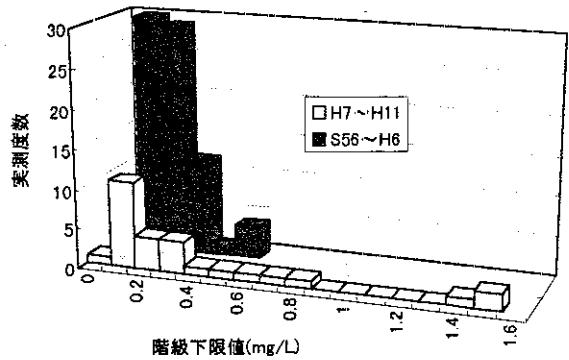


図13 昭和56年～平成6年及び平成7年～11年までの全窒素測定値の度数分布

「ダム貯水池生物概況」⁵⁾によると、平成6年以降藍藻類が夏季に増加しており、平成8年夏季にはカビ臭と水の華構成種が多量に出現し、障害発生レベルに達している。また、淡水赤潮構成種は障害発生レベルには達していないものの増加傾向にあることが記載されている。

(5) 降雨時期の流入負荷

平成11年6月は、24, 25, 30日に調査を実施しているが、その時の日降水量及び流入水・放流水・湖内各水深の全窒素・全リンの濃度を表2に示す。

表2には、5月及び7月調査のデータを参考に示しているが、降雨によりダム内への流入水中の全窒素・全リン濃度が高くなっているのがわかる。これに伴い、ダム湖内の濃度も上昇しており、特に、前日120mmの降雨があった6月30日においては、5月、7月に比べ高濃度となっていた。

表2 平成11年6月24, 25, 30日の降雨時期における流入水・放流水・湖内各水深のT-N・T-P濃度

日付	日降水量(mm)	T-N(mg/L)							T-P(mg/L)						
		流入	放流	水深					流入	放流	水深				
				0m	2m	5m	10m	15m			0m	2m	5m	10m	15m
5月20日	0	0.249	0.290	0.279	0.344	0.307	0.128	0.348	0.015	0.010	0.011	0.010	0.011	0.008	0.010
6月21日	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月22日	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月23日	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月24日	70	0.869	0.630	0.498	0.588	0.673	0.384	0.645	0.063	0.055	0.035	0.050	0.054	0.025	0.020
6月25日	25	0.366	0.437	0.421	0.441	0.480	0.397	0.549	0.020	0.029	0.027	0.026	0.024	0.023	0.017
6月26日	114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月27日	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月28日	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月29日	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6月30日	2	0.531	0.953	0.766	0.642	0.615	0.640	0.578	0.013	0.033	0.035	0.039	0.038	0.042	0.033
7月21日	0	0.130	0.193	0.161	0.427	0.217	0.248	0.313	0.018	0.017	0.014	0.022	0.020	0.019	0.026

このことは、伊岐佐ダムにおける流入水中の窒素・リンによる負荷は、降雨により一挙に上昇することを示すものである。

(5) ダム底層栄養塩類による影響

伊岐佐ダムは、使用開始から20年を経過しており、近年において藻類の増加が occurring ことは、前記の降雨による濁流入水による影響だけでは説明がつかない。

そこで、ダム底層からの栄養塩類の影響について考察を行った。平成10年8月から11月までのT-N、全無機態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計)、T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、水深15mにおいて他の水深に比べ高い濃度であったことから、全層を混合したと仮定した場合15m層が他の層へどれほど寄与するか表3に示した。これは、混合して増加する0mから10m層の平均濃度について各項目濃度0mg/Lの水が貯水量の0.1・2・3倍流入しダム全体へ拡散したと仮定した場合、最初の濃度増加分がどれほど残るかを、また、その残ったものの混合前0mから10m層平均濃度に対する割合を最小値及び最大値として示したものである。なお、無機態窒素については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の寄与がほとんどであるが、今回はその

合計として検討することとした。

その結果、窒素・リン共に各態での寄与が高く、貯水量等量の流入では、最初の0から10m層平均濃度に比べ全窒素・全リンがそれぞれ6.7~14.0%・3.0~9.4%増加するのに対し、全無機態窒素では24.6~145.3%、リン酸態リンが12.9~45.5%増加する結果となった。

流入水量が多い場合は希釈により底層の影響は小さくなると考えられるが、それでも流入水量漸減後一部は湖水中に留まることになる。

伊岐佐ダムは、6月を除くこの通年調査の間、水深0m及び2mで全無機態窒素0.002~0.098、リン酸態リン0.001~0.009と比較的低い濃度であり、また、この無機態窒素及びリン酸態リンは生物にとって利用しやすい形態⁷⁾であることから、底層の栄養塩が上層部の藻類の異常発生に関与している可能性があると考えられる。

ダム湖内は、降雨による流入水の増加とともに大量の有機物・無機物がダム内へ流入し、その一部及びダム内の生物などの沈降より、ダム使用当初と比べ栄養に富んだ底泥となり、これが温度成層形成時期に栄養塩類の溶出を可能にしているのではないかと推測される。

表3 ダム深層栄養塩類による0m～10m層への影響

(平成10年8月～平成10年11月)

項目	T-N	NO _x -N, NH ₄ -N	T-P	PO ₄ -P	
A 0～10m層平均濃度(mg/L)	0.2261 ~ 0.4594	0.0357 ~ 0.1056	0.0153 ~ 0.0231	0.0028 ~ 0.0059	
B 15m層濃度(mg/L)	0.6832 ~ 0.9020	0.4812 ~ 0.7852	0.0304 ~ 0.0425	0.0106 ~ 0.0250	
C 全層仮定混合濃度(mg/L)	0.3121 ~ 0.5427	0.1484 ~ 0.2158	0.0192 ~ 0.0258	0.0043 ~ 0.0080	
全層混合後0～10m層への平均寄与濃度(mg/L)	貯水量の0倍流入 C-A	0.0830 ~ 0.1042	0.0707 ~ 0.1410	0.0019 ~ 0.0039	0.0015 ~ 0.0041
	貯水量の1倍流入	0.0305 ~ 0.0383	0.0260 ~ 0.0519	0.0007 ~ 0.0014	0.0005 ~ 0.0015
	貯水量の2倍流入	0.0112 ~ 0.0141	0.0096 ~ 0.0191	0.0003 ~ 0.0005	0.0002 ~ 0.0006
	貯水量の3倍流入	0.0041 ~ 0.0052	0.0035 ~ 0.0070	0.0001 ~ 0.0002	0.0001 ~ 0.0002
寄与濃度/0～10m層の平均濃度(%)	貯水量の0倍流入	18.1% ~ 38.0%	66.9% ~ 394.8%	8.2% ~ 25.7%	35.1% ~ 123.8%
	貯水量の1倍流入	6.7% ~ 14.0%	24.6% ~ 145.3%	3.0% ~ 9.4%	12.9% ~ 45.5%
	貯水量の2倍流入	2.5% ~ 5.1%	9.1% ~ 53.4%	1.1% ~ 3.5%	4.8% ~ 16.8%
	貯水量の3倍流入	0.9% ~ 1.9%	3.3% ~ 19.7%	0.4% ~ 1.3%	1.7% ~ 6.2%

* 貯水量のn倍流入後の平均寄与濃度 = (C-A) × [(貯水量-流入単位)/貯水量] (流入水量/流入単位-1)
 貯水量 : 404000m³
 流入単位 : 0.001m³ として計算した

まとめ

伊岐佐ダムの湖水は、6月から10月まで鉛直方向に温度成層を形成し、この期間底層では無酸素状態となりNH₄-N, PO₄-Pが高濃度となっていた。

伊岐佐ダムでの藻類などの異常発生は、過去のデータ及び今回の通年調査結果からダム湖内の温度成層が形成される時期に多量の流入水があった後好天が続く場合に見られた。また、ダム表層では、過去に比べ平成7年頃から高濃度のクロロフィル-a・全窒素が確認されるようになった。

伊岐佐ダムへの流入水中の窒素・リンの負荷は、降雨時期に一挙に上昇しており、降雨終了後の湖内濃度に影響を及ぼすと考えられる。なお、流入水中の窒素・リンの負荷については、次報で詳しく報告する。

今回、ダム底層からの影響について、ダム湖内温度成層時期のダム15m層では、アンモニア態窒素及びリン酸態リンが他の層に比べ高濃度となっていたことから、降水などによる温度

成層の崩壊が起こったと仮定して、これらの全層への拡散を検討した結果、成層が崩れ、尚かつ全流入量が少ない場合ダム上層部へ少なからず影響することが考えられた。

ダム内では、使用開始から20年の間、有機物や無機物の流入・沈降により栄養に富んだ底泥を形成し、この底泥から温度成層時期に栄養塩類の溶出が起こり、降雨などによる成層崩壊後底層から上層部へその一部が供給されることが推測される。また、供給された栄養塩類は、藻類などの生物で利用され、その異常発生の要因となっていることも推測される。

栄養塩類の挙動は、藻類の異常発生の要因として重要であると考えられるため、その他、季節、日照時間、流入水の流入量・流入速度、水温の変化等によるダム内流路の変化、その時の優占種など様々な要因と共に、更に検討が必要であると思われる。

本文中にはふれなかったが、ダム湖内富栄養化対策として、国内外で浚渫・底質の被覆・湖水のばっ気・人工循環・選択放流など様々な対策が検討・実施されている¹⁰⁾。伊岐佐ダムの富栄養化において、直接的、間接的にせよ底泥

からの影響があるとした場合、その底泥または底層に対する対策は、適切な方法の選択により可能と考える。

資料

本報告に係る伊岐佐ダムの概要及び理化学調査結果を本所報資料編に示した。

謝 辞

本調査を進めるにあたり、ダム管理資料やダム生物調査資料の提供、また、調査日のボートの使用などご協力いただいた佐賀県ダム対策課及び伊岐佐ダム管理事務所に感謝します。

参考文献

- 1) 伊岐佐ダム管理日報：佐賀県伊岐佐ダム管理事務所
- 2) 伊岐佐ダム管理月報：佐賀県伊岐佐ダム管理事務所
- 3) 伊岐佐ダム管理年報：佐賀県伊岐佐ダム管理事務所
- 4) 佐賀県公共用水域水質測定結果 (昭和56年度～平成9年度)
- 5) 財団法人 ダム水源地環境整備センター (平成10年4月)：ダム貯水池生物概況 伊岐佐ダム
- 6) 財団法人 ダム水源地環境整備センター監修 (1994)：水辺の環境調査。技報堂出版
- 7) 秋山優、有賀祐勝、坂本充、横浜康継編集 (1986)：藻類の生態。内田老鶴園
- 8) 海老瀬潜一 (1988)：小河川流域の流出負荷量とその流出特性。国立公害研究所研究報告 第116号 133～147
- 9) 底泥からの窒素及びリンの溶出調査 (1984)：国立公害研究所研究報告 第56号 75-101
- 10) 広島県 (平成元年12月)：湖沼富栄養化防止に関する技術資料