

2 水 質 課

北山ダムの水質調査結果について

水質課 水田博子

1 はじめに

佐賀市の北方約20Kmに位置する北山ダムは、県内最大の人工湖であり、夏の避暑、ヘラブナ釣りなどのレクリエーションの場として、また、佐賀市周辺市町村の上水・農水の水がめとして重要な湖沼である。

しかし、夏場には水道異臭味障害が発生し、21世紀県民の森として周辺の施設整備も進められ、富栄養化の進行が憂慮された。

そこで、水質汚濁の進行を防ぐ観点から環境基準の類型指定に向けての作業が進められており、水質調査も表-1に示すとおり継続して実施している。

この結果については、所報2、3、4号で報告しているところであるが、今回は全体的にデータを取りまとめたので報告する。

表-1 北山ダムに係る調査概要

年度	調 査 概 要				備 考
52	湖面3地点×年6回 ダムサイト(多層) ダム中央(表層) 河流入部(表層)	流入河川下流 3地点×年5回			公害センター研究調査
53	湖面1地点×年5回 ダムサイト(多層)				"
56	湖面3地点×年4回 ダムサイト(多層) ダム中央(表層) 河流入部(表層)	流入河川下流 4地点×年4回	湖底質3地点年1回		"
57	湖面3地点×年6回 ダムサイト(多層) ダム中央(2層) 河川流入部(〃)	流入河川下流 1地点×年12回 3地点×年6回	雨水(管理事務所) 年1回	周辺汚濁源 年1回	" 類型指定事前調査
58	湖面2地点×年12回 ダムサイト(3層) ダム中央(表層)	流入河川下流 2地点×年6回 流入河川最上流 2地点×年8回	雨水(湖畔荘) 年1回 井戸水(2カ所) 年8回		類型指定事前調査
59	湖面2地点×年12回 ダムサイト(3層) ダム中央(表層)	流入河川下流 2地点×年6回 流入河川最上流 2地点×年6回	雨水(湖畔荘) 井戸水(2カ所)		"

2 流域特性

(1) 土地利用状況

北山ダム流域の地目別構成を表-2に示す。山林75.5%、水田9.2%、畑・樹園地23%と、これらの農山林で87%を占めている。

表-2 土地利用状況

区 分	流域面積 (ha)	流域内市町村面積(ha)		土 地 利 用 別 面 積 (ha)				
		三瀬村	富士町	田	畑	樹園地	山 林	その他
面 積 (ha)	5 463	4 074	1, 389	501	79	48	4, 122	713
構 成 割 合 (%)	100.0	74.6	25.4	9.2	1.4	0.9	75.5	13.0

(2) 人 口

流域内の人口及び人口密度を表-3に示す。人口密度40人/㎏と県平均358人/㎏を大きく下廻る過疎の町村である。

経年的には図-1のように減少傾向にあったが、52年頃より横ばいである。

表-3 人 口

区 分	流 域 総人口	流域内市町村人口(人)		佐賀県 千人
		三瀬村	富士町	
人 口 (人)	2,163	1,949	214	872
人口密度 (人/㎏)	40	48	15	358

(57年4月)

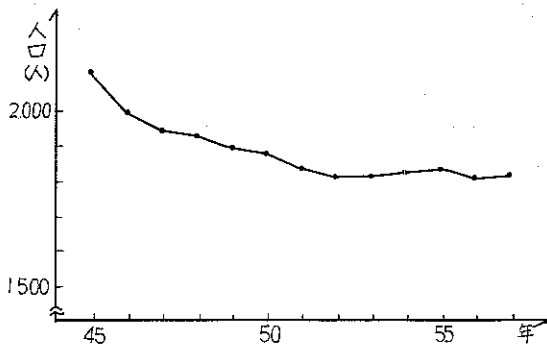


図-1 三瀬村人口変化図

(3) 産業活動

流域内の大半を占める三瀬村の就業人口の産業別構成比を表-3に示す。これをみると、農業・林業の構成比が県平均値より大きく、一次産業の比率が高い。

農業の内容では、畜産飼育頭数をみると、養豚はなく、牛についても減少傾向にあり、畜産はさかんではない。高冷地を活かしたレタス栽培など畑作がさかんである。

工業については、セメント製品製造工場が1社あるほかは、目立ったものはなく、湖周辺に旅館や飲食店がある程度である。

観光人口の経年変化を表-4に示す。年間約50万人が訪ずれており、21世紀県民の森の施設整備により、約60万人へと増加することが見込まれている。季節的には5月～9月の夏場に多くなっている。

湖面ではコイの養殖が行われていたが、昭和40年代をピークに減少し、現在では1業者のみとなっている。

表-3 産業別就業者数

(15歳以上 昭和55年国勢調査)

区 分	三 瀬 村		佐 賀 県	
	人 口 (人)	構 成 比 (%)	人 口 (人)	構 成 比 (%)
就業者総数	1,047	100.0	419,548	100.0
農 業	384	36.7	79,370	18.9
林業・狩猟業	10	1.0	556	0.1
漁業・養殖業	-	-	9,657	2.3
鉱 業	1	0.1	578	0.1
建設業	103	9.8	41,145	9.8
製造業	179	17.1	73,865	17.6
卸売業・小売業	103	9.8	84,325	20.1
金融・保険業	18	1.7	8,595	2.1
不動産業	-	-	925	0.2
運輸・通信業	30	2.9	22,894	5.5
電気・ガス・水道・熱供給業	-	-	2,534	0.6
サービス業	162	15.5	77,188	18.4
公 務	55	5.3	17,671	4.2
分類不能	2	0.1	245	0.1

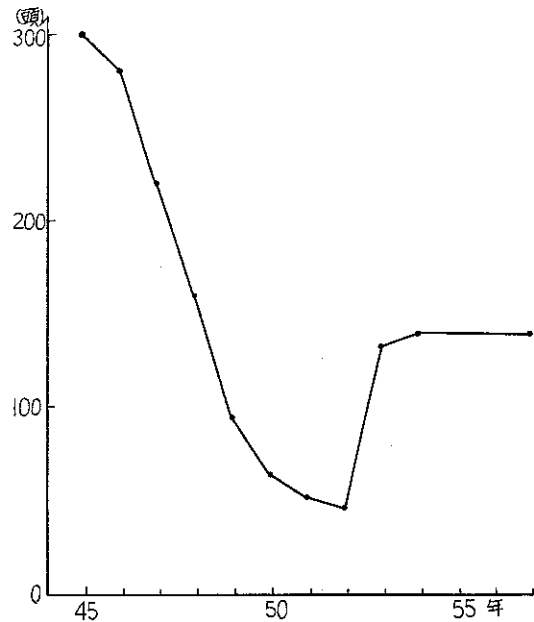


図-2 三瀬村牛飼育頭数

表-4 北山国民休養地利用状況調

(三瀬村観光協会調査)

月別 年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合 計
51	20,000人	19,000人	30,000人	41,000人	59,000人	47,000人	51,000人 (1,821)	105,000人 (2,964)	65,000人	35,000人	21,000人	18,000人	511,000人 (4,785)
52	17,000	15,000	26,000	37,000	57,000	39,000	44,000 (1,872)	89,000 (2,993)	58,000	32,000	16,000	14,000	444,000 (4,865)
53	15,000	23,000	17,000	44,000	52,000	51,000	40,000 (2,023)	104,000 (3,096)	48,000	18,000	30,000	6,000	448,000 (5,119)
54	11,000	23,000	16,000	44,000	74,000	45,000	50,000 (2,011)	98,000 (3,050)	51,000	23,000	24,000	9,000	468,000 (5,061)
55	5,000	10,900	17,400	37,100	67,700	38,100	73,100 (2,202)	95,600 (2,315)	63,300	42,900	37,400	13,000	501,500 (4,517)
56	10,400	10,400	43,500	33,000	69,300	38,100	41,900 (2,837)	108,300 (4,757)	64,200	45,200	30,000	8,800	503,100 (7,594)
57	5,720	3,400	27,307	43,870	51,945	12,015	16,395 (2,403)	69,750 (5,266)	35,915	51,830	29,130	8,900	356,177 (7,669)

※ () は野営場の利用者数で内数

(4) 被害発生状況

直接湖面から取水しているのは、発電用水のみであり、上水・農水は下流の嘉瀬川から取水している。

直接取水による被害は発生していないが、下流で取水している上水に表-5に示すとおり異臭味障害が発生しており、各浄水場では活性炭処理などの対策を講じている。

これら浄水場は、直接湖面からの取水ではなく、約20kmも下流からの取水であるが、北山ダムから発電用パイプにより、浄水場取水口上流約2kmの所に

放流されるため、影響を受けており、プランクトンによるろ過地閉塞をきたしていることからその影響は明らかである。

また、かび臭物質生成生物として確認されているある種の藍藻類が北山ダムで発生しており、またかび臭物質の感知しうる限界値は0.01mg/m³と非常に低濃度であることから、北山ダム放流水は、下流の河川自流で約4倍に希釈されるものの、下流の上水に異臭味障害を発生させているものと思われる。

表-5 被害発生状況

発生箇所	被害	発生時期	対策
佐賀市水道局	異臭味障害（カビ臭、藻臭）	6月上旬～8・9月	活性炭処理
西佐賀水道企業団	同上	同上	塩素処理を強める
川副町水道課	同上	同上	活性炭処理

3 地文学的特性

(1) 基本諸元

北山ダムに係る基本諸元データを表-6、表-7に示す。

農水省管轄の農業用ダムで、竣工後29年になる。放流施設は余水吐、かんがい取水塔、発電用取水口の3種類があり、主に発電用取水口から発電に利用されて河川に放流されている。発電所から発電所へパイプで結ばれており、途中の河川は自流が少ない。

その他、洪水時に余水吐から、あるいは下流の利水に不足する分がかんがい取水塔から適時放流されている。

これらすべて表層水を放流するため、水温成層をこわすことなく、夏・秋に底層が無酸素状態となる。

表-6 基本諸元調査表

ダム名	北山ダム			
貯水池名	北山貯水池			
水系名	嘉瀬川			
河川名	嘉瀬川			
その他の流入河川名	初瀬川			
ダム所在地	佐賀県佐賀郡富士町 神埼郡三瀬村			
ダム事業者名 及び管理者名	国(農林省) 佐賀土地改良区	着工年月	昭和25年12月	
ダム型式	重力式コンクリートダム	竣工年月	昭和32年3月	
ダム目的		湛水開始年月	昭和32年4月	
ダムと貯水池の規模	堤高 m	59.3	最低基礎面標高	320.0
	堤頂長 m	180.0	堤頂標高	379.3
	堤体積 10^3m^3	145	常時満水位標高	374.30
	流域面積 Km^2	54.63		
	貯水池面積 Km^2	2.00		
	総貯水量 10^6m^3	22.25		
	有効貯水量 10^6m^3	22.00		
利用水深 m	32.30			
	施設名・事業者名	型式・規模等	容量・機能量等	
洪水吐・水位水量 調節堰関係	余水吐・国 (農林省)	テンターゲート 巾 11.0 m 2 門 高 7.6 m	捲上機 7.5 Ho 2台 放流量 $920\text{m}^3/\text{s}$	
取水施設関係	かんがい用取水塔 国 (農林省) 発電用水取水口 九州電力	半円型取水塔 スルースゲート 1.5×1.6 7門 左岸岩盤に設置 ドロップゲート 3.0×5.0 3門	取水量 最大 $13.28\text{m}^3/\text{s}$ 常時 0 " 取水量 最大 $10.0\text{m}^3/\text{s}$ 常時 1.2 "	

表-7 基本諸元データ

降 水 量	年 次		昭 45	昭 46	昭 47	昭 48	昭 49	昭 50	昭 51	昭 52	昭 53	昭 54	昭 55	昭 56	昭 57	昭 58	平均
	新村	井手野	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同	同
年降水量 mm	2,352	2,344	3,589	2,646	2,230	2,227	3,062	2,337	1,942	3,153	3,998	2,650	2,953	2,972			
同上 mm	2,163	2,401	3,667	2,550	2,258	2,151	2,951	2,084	1,762	2,982	3,802	2,565	2,797	2,894			
同	2,072	2,122	3,214	2,236	1,888	1,961	2,650	1,929	1,671	2,771	3,397	2,311	2,485	2,700			
V 貯水量	年平均水位	367.24	371.74	372.02	370.99	369.20	366.76	371.45	368.61	366.26	371.30	366.93	370.01	371.53			
	年平均貯水量 10 ³ m ³	11,055.4	17,460.6	17,923.2	16,259.3	13,611.0	10,469.4	16,989.5	12,808.3	9,886.4	16,749.0	10,673.3	14,769.7	17,118.6			
Q 流入量	年流入量 10 ³ m ³	84,123.9	97,072.5	149,554.7	103,796.9	82,410.7	78,126.1	119,044.7	91,990.2	56,184.3	111,798.4	104,856.6	109,338.1	125,671.2			
	日平均流入量 m ³	230,476	265,952	409,739	284,375	225,783	214,044	326,150	252,028	153,930	306,297	461,421	287,278	299,556	344,305		
余水吐 取水塔	年流出量 10 ³ m ³	—	404	16,914	446	—	—	3,066	1,226	—	5,940	27,931	1,319	592	4,426		
	同上 10 ³ m ³	9,225	—	—	4,158	4,591	17,353	—	7,377	9,410	2,123	485	17,045	4,689	183		
出 量	年流出量 10 ³ m ³	78,746	90,105	133,011	101,022	80,034	62,321	112,514	89,026	44,968	100,441	145,257	84,893	100,406	123,557		
	(小計)	87,971	90,509	149,925	102,626	84,625	79,674	115,580	97,629	54,378	108,504	173,673	103,257	105,387	128,166		
日平均流出量 m ³	年	241,016	247,970	410,753	281,167	231,849	218,285	316,658	267,477	148,981	297,271	475,816	282,900	288,732	351,140		
	日	0.1314	0.1799	0.1198	0.1566	0.1652	0.1340	0.1427	0.1392	0.1760	0.1436	0.0994	0.1018	0.1351	0.1362	0.1306	
V/Q=τ 滞留時間	年	48.0	65.7	43.7	57.2	60.3	48.9	52.1	50.8	64.2	52.4	36.3	37.2	49.3	49.7	51.1	
	日	7.6	5.6	8.3	6.4	6.1	7.5	7.0	7.2	5.7	7.0	10.1	9.8	7.4	7.3	7.1	
R=V/τ=Q/V 回転率	年	13.30	11.18	13.10	7.50	16.26	25.70	14.82	15.13								
	日	0.069	0.050	0.075	0.034	0.075	0.118	0.068	0.069	0.063	0.064	0.097	0.060	0.063	0.072		
流 況	流量	単位流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量	ダム 官人橋流域 の流量
	平均流量 m ³ /s																

(2) 滞留時間

湖水の滞留時間は、その湖沼の生物生産、水質状態、富栄養化状態を論ずる上で重要な指標である。

天然湖沼では、滞留時間が100年に達するものもあり、短いものでも2カ月以上のものが多いと言われ、一方、水利用を目的としている人工湖では滞留時間は短かく2カ月より小さいものが多いと言われている。

北山ダムの滞留時間は、表-7に示すとおり平均約50日で2カ月より短かくなっている。しかし、これは年間総量を基にして算出した値であり、図-3に示すとおり、10月から翌年5月に満水になるように貯水していくダム管理がなされており、滞留時間の季節変化が大きいと思われるため、表-8に58年の月毎のデータを参考として示している。

冬から春にかけて滞留時間が長く春には日射量、

温度とも上昇していき、植物プランクトン数が春4・5月には多くなる。異臭味障害は6月頃から夏場に発生するのは、放流量が増加するからと思われる。

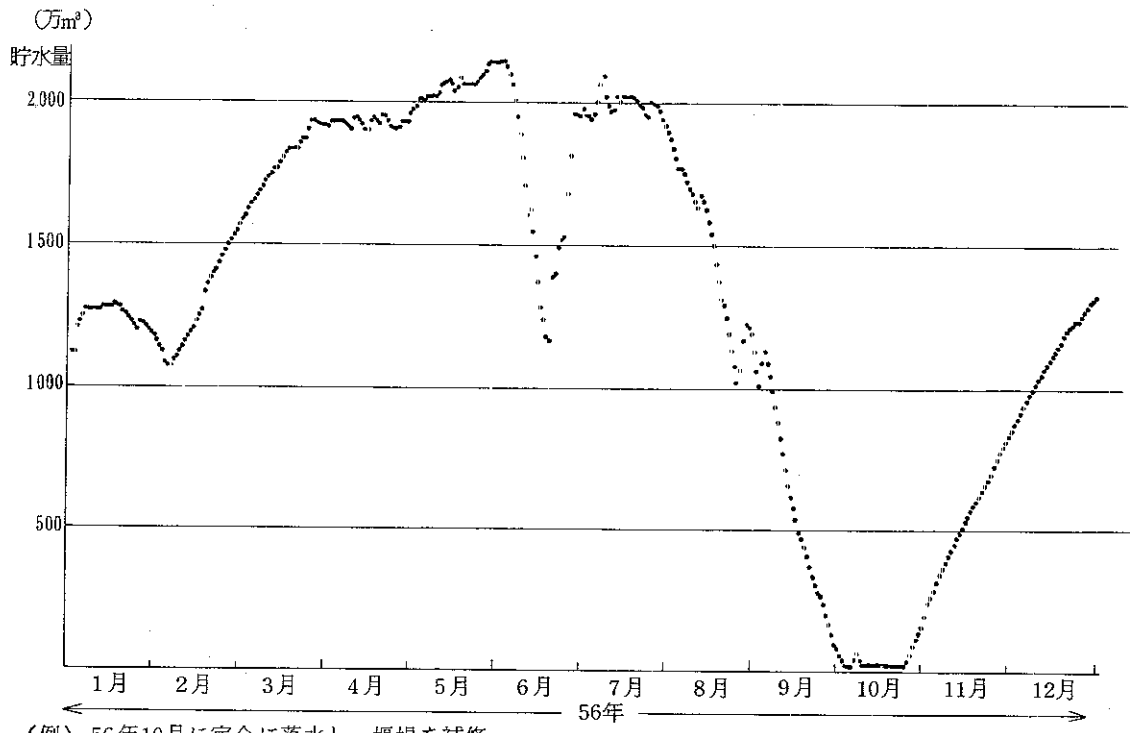
滞留時間の短かいものは滞留時間の逆数の回転率がよく用いられる。これは一年間に何回水が入れ換るかを意味する。この回転率が100以下のような水域では、川にはみられなかったような静水性の生物（プランクトン）の生息が認められることや、表-9のように障害発生湖沼が、回転率100以下に多いことから、湖沼を定義する根拠指標とするよう環境庁でも検討がなされている。

北山ダムの回転率は平均7で、当然湖沼に該当する。

また、約5年に1回、堰堤の補修のため10月に完全に落水し、底層の水も放流される。このことは、ダムの水質に良い影響を与えるものと考えられる。

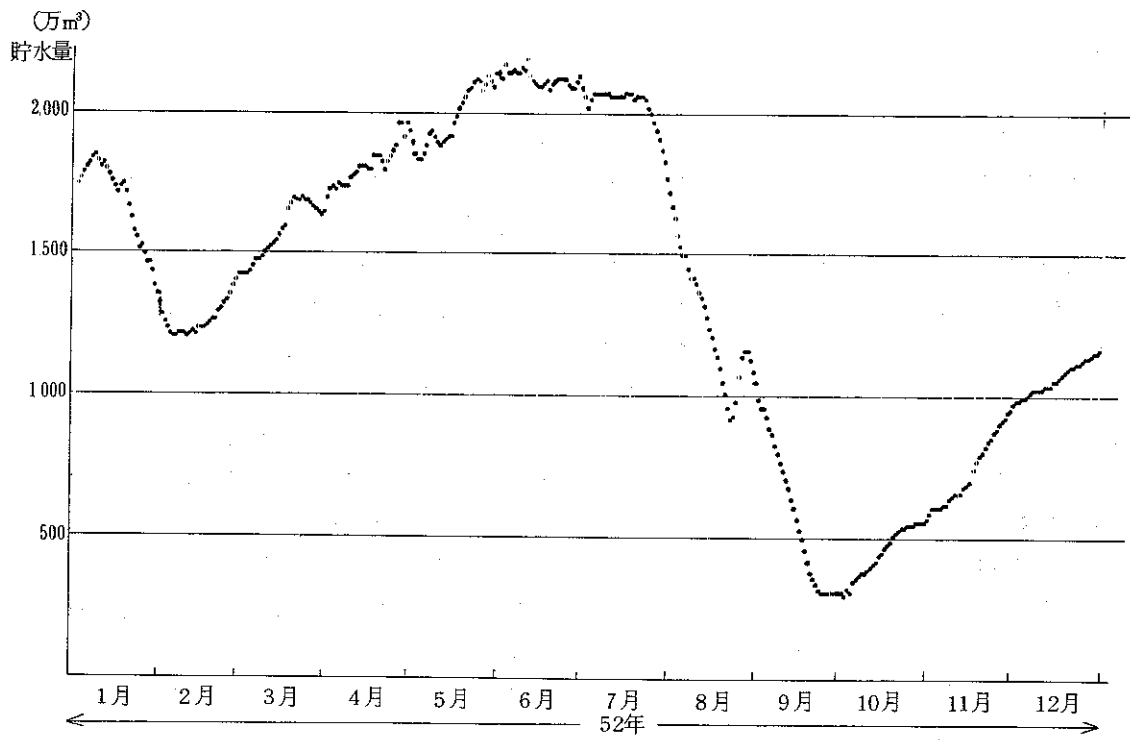
表-8 月毎の滞留時間 (58年)

58年 月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V 貯水量	月平均水位	371.64	371.47	373.73	372.71	373.53	373.06	373.43	371.62	370.54	366.39	370.55	370.71
	月平均貯水量 $10^3 m^3$	17297.2	17021.7	20927.5	19094.5	20559.9	19711.8	20377.6	17264.6	15563.5	10035.5	15578.7	15823.9
Q 流入量	月入流量 $10^3 m^3$	5318.0	5612.2	10368.5	10877.8	10609.5	10396.5	18118.9	13203.3	16881.5	12221.6	6719.8	5273.7
	日平均流入量 m^3	171.548	200.436	334.468	362.593	342.242	346.550	584.481	425.913	562.717	394.245	18.410	170.119
流 出 量	余水吐 月出流量 $10^3 m^3$						486.7	3939.6					
	取水塔 同上 $10^3 m^3$						183.6						
	発電 同上 $10^3 m^3$	5867.5	5155.6	9000.5	9697.3	9366.0	11144.7	13282.8	16457.3	20868.0	13126.1	904.8	8577.7
	(小計)	5867.5	5155.6	9000.5	9697.3	9366.0	11815.0	17222.4	16457.3	20968.0	13126.1	904.8	8577.7
	日平均流出量 m^3	189.274	184.129	290.339	323.243	302.129	393.833	555.561	530.881	698.933	437.537	30.160	276.700
V/Q= τ	月	3.3	3.0	2.0	1.8	1.9	1.9	1.1	1.3	0.9	0.8	2.3	3.0
滞留時間	日	100.8	84.9	62.6	52.7	60.1	56.9	34.9	40.5	27.7	25.5	69.5	93.0



(例) 56年10月に完全に落水し、堰堤を補修

39年から5~6年毎に実施(実施年 39年, 45年, 50年, 56年)



(例) 52年 通常パターン

図-3 北山ダム貯水量パターン図

表-9 回転数ランクから見た湖沼の障害発生状況

回転数ランク (回/年)	障害湖沼				湖沼数合計	障害発生率 (%)
		自然保護局 調査湖沼	ダム総覧	水道統計独自		
0 ~ 1	9	55	} 335	6	} 533	} 7.1
1 ~ 2	8	42		3		
2 ~ 5	21	86		6		
5 ~ 10	25	61	267	7	335	7.5
10 ~ 20	23	41	204	7	252	9.1
20 ~ 30	10	19	72	4	95	10.5
30 ~ 40	5	6	31	4	41	12.2
40 ~ 50	3	1	18	1	20	10.0
50 ~ 100	7	14	45	1	67	10.4
100 ~ 150	1	5	} 255	8	} 287	} 0.3
150 ~ 200	0	2		2		
200 ~	0	7		14		
計	112	339	1,227	64	1,630	6.9

(注) 1 障害湖沼の数は、環境庁調べ。

2 この表の数値は、回転数の判明しているものみに限る。

(3) 湖水の流動

湖内の重要な流動に、水温による水塊の密度差に起因する鉛直方向の流動がある。湖沼学的には、秋期・冬期2回循環する複循環、冬期1回循環する単循環、季節を問わず循環をくり返す多循環が我国の湖沼に当てはまると言われており、北山ダムは、後述の水質鉛直分布からみて単循環のようである。

その他、風による吹送流、河川の流入の勢いで拡がっていく流れ等があるが観測データがなく、詳細については明らかでない。

(4) 地文学的指標

湖水単位容積当たりの比流域面積(W/V)、同人口(P/V)は、湖沼群の富栄養化特性を比較する指標として用いられる。(表-10)

望ましくは、単水容積当たりの負荷量を比較した方が良いが、負荷量算出には、いろいろな仮定の上で立って煩雑な計算を必要とするので、これら指標

が用いられている。

W/Vは面源負荷量と、P/Vは点源負荷量と関係があると考えられ、国立公害研究所では、湖沼群の負荷量の差を増幅させるためPW/V値も比較されている。

これら指標とCOD年間平均値との関係をプロットした公害研究所の報告では、富栄養化した湖沼は他の湖沼から離れてゾーンを形成している。

(図-4, 5, 6)

北山ダムは、W/V値は比較的大きいが、COD値はさほど大きくないので、富栄養化湖沼群には入らない。P/V値とPW/V値は小さい値であり、これら指標では、特に富栄養化しやすい地文学的条件であるとは言えない。それにもかかわらず、栄養塩濃度は比較的高い。この公害研究所の解析がCOD濃度との関係であるため、これら指標と栄養塩濃度との関係も今後調査してみたい。

表-10 日本の26湖沼の地文学的因子および指標
Physiographical Parameters and Indexes of 26 Japanese Lakes

Name	Catchment Area W (km ²)	Water Volume V (×10 ⁶ m ³)	Mean Depth H (m)	Surface Area A (km ²)	Population P (×10 ³)	W/V	P/V	(P/V) × 10 ³	COD (S.52) (ppm)	Retention Period (y)	PW/V Capita km ² /10 ³ m ³
Shikotsu	218.8	19500	252.3	77.3	0.37	0.011	0.00002	0.02	0.75	—	0.0004
Toya	176.7	8200	117.8	69.6	7.08	0.022	0.0009	0.90	0.50	(9.3)	0.152
Onuma	106.1	32.8	6.4	5.1	4.57	3.235	0.139	139	2.98	0.60	14.8
Abashiri	1357.1	233	7.2	32.5	43.08	5.824	0.185	185	6.3	0.15	251
Akan	98.4	210	17.8	11.8	2.20	0.469	0.010	10.0	2.61	1.2	1.03
Kussharo	202.5	2200	28.4	77.5	2.96	0.092	0.0013	1.3	0.94	(12)	0.27
Towada	60.0	4190	71.0	59.1	—	0.143	—	—	0.85	8.5	—
Tazawa	22.3	7200	280.0	25.7	—	0.003	—	—	<0.5	7.9	—
Hibara	106.4	128	12.0	10.4	0.85	0.831	0.0066	6.6	1.8*	0.87	0.70
Onogawa	37.5	11.8	7.9	1.5	0.25	3.178	0.021	21.0	1.9*	0.05	0.80
Akimoto	112.1	32.8	9.9	3.3	0.33	3.418	0.010	10.0	2.1*	0.09	1.13
Numazawa	8.9	85	27.0	3.1	0.23	0.105	0.0003	0.3	1.3	0.84	0.02
Kasumigaura	2169	800	4.0	220	750.0	2.711	0.938	938	7.2	0.70	2033
Chuzenji	70.0	1100	94.7	11.6	—	0.064	—	—	1.1*	7.2	—
Yunoko	18.0	1.7	5.2	0.33	0.29	10.59	0.171	171	2.8*	(0.11)	3.06
Inba-numa	520	19.7	1.5	13.1	351	26.40	17.82	17820	7.3	0.044	9265
Kahoku-nata	272	14.7	1.8	8.2	152.8	18.50	10.39	10390	6.9*	0.057	2827
Motosu	66	320	49.0	6.5	0.8	0.206	0.003	3.0	0.6*	6.5	0.17
Suwa	531	64	4.6	13.7	186.3	8.297	2.911	2911	9.0	0.12	1546
Nojiri	9.0	25.6	5.6	4.6	1.13	0.352	0.044	44.0	1.9*	1.01	0.40
Aoki	32.8	54.5	29.0	1.9	1.67	0.602	0.031	31.0	1.6*	—	1.01
Biwa	3800	27500	41.2	674	850.0	0.138	0.031	31.0	2.53	4.85	117
Koyamaike	41	19	2.8	6.8	6.10	2.158	0.321	321	9.3	0.24	13.2
Chūkai	690	533	5.5	96.9	176.7	1.295	0.332	332	4.3*	0.16	229
Shiriji	460	344	4.2	81.8	195.7	1.337	0.569	569	4.0*	0.24	262
Ikeda	23	1300	120	11.0	1.6	0.018	0.0012	1.2	1.5	53.0	0.03
Hokuzan	54.6	22	11.0	2.0	2.1	2.482	0.095	0.05	2.3	—	5.21

Remarks: *: Observed Values of 1978, average of 75% value (Other data are from 1980 data of Environment Agency)

注: 表-10, 図-4.5.6は国立公害研究所報告書「陸水域の富栄養化に関する総合研究」を引用した。

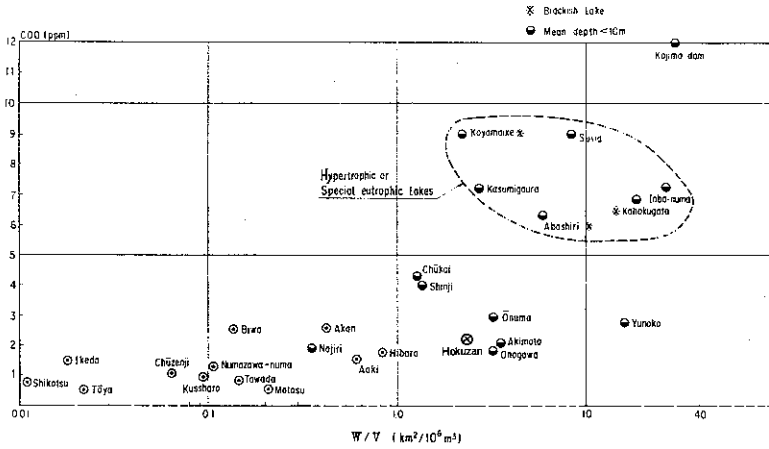


図-4 湖沼の W/V 値に対する年平均COD値
 W/V value versus annual average COD

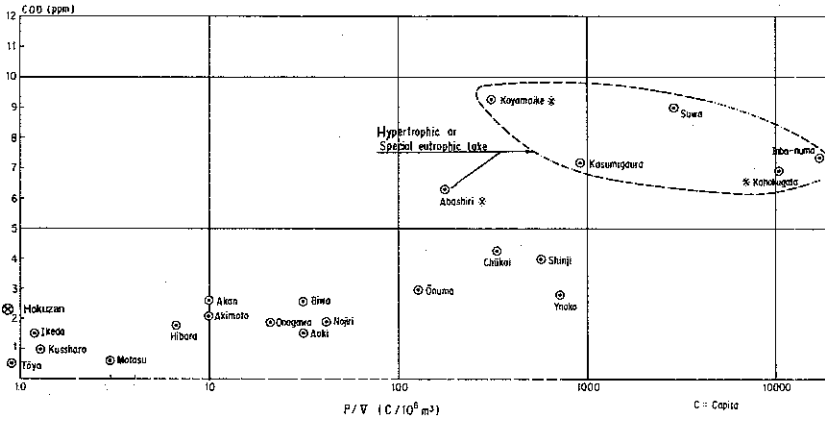


図-5 湖沼の P/V 値に対する年平均COD値
 P/V value versus annual average COD

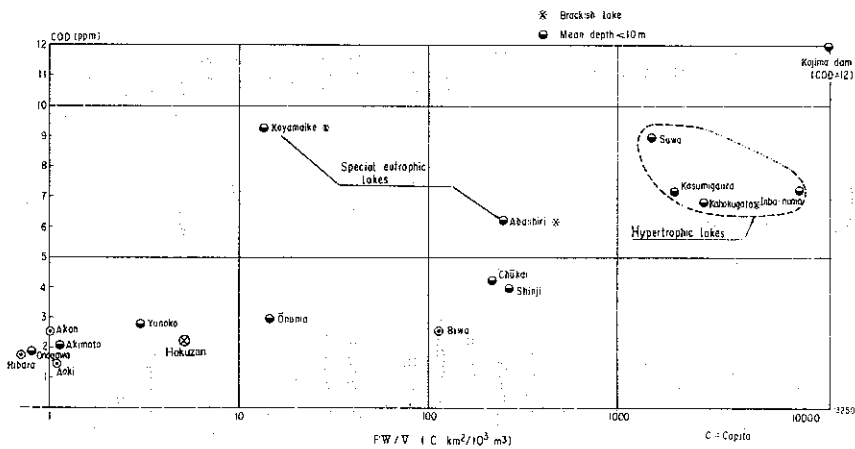


図-6 湖沼の PW/V 値とそれに応ずる年平均COD値
 PW/V value versus annual average COD

4 水質特性

(1) 各水質項目毎の概要

① 水 温

水温は、直接には植物やバクテリアの活動に影響し、間接にはその成層状態が植物プランクトン及び水質の成層を左右することにより増殖を支配する。

北山ダムの水温は表層水は春から夏に上昇するが、底層はあまり変化しない。鉛直方向には春から秋に水温成層を形成し、冬場の循環期には解消する。この水温成層が他の水質項目にも大きく影響している。

代表的な季節変化、鉛直変化を図-7、図-8に示す。

② pH

植物プランクトンは、その光合成活動により水中の炭酸を吸収するので、生産活動が盛んなほど水は弱アルカリ化する。従ってpHは生産活動の大小を知る1つの良い指標である。

北山ダムのpHは、表層は春から夏にアルカリ側で生産活動の活発な事を示している。

代表的な季節変化、鉛直変化を図-9、図-10に示す。

③ 溶存酸素、溶存酸素飽和度

植物は、その光合成生産活動において酸素を生産するので、生産活動が活発な生産層では過飽和となる。

これに対し生産された有機物の微生物による分解および生物の呼吸活動では酸素の消費がおこるので、光がとどかない深水層中では酸素の減少がおこる。

湖沼の富栄養化が進行するほど生産層の過飽和は大きく、深水層における酸素の減少は著しくなる。

北山ダムの溶存酸素及び溶存酸素飽和度は、表層では春から夏に過飽和となり、底層では夏から秋に無酸素状態となっている。

代表的な季節変化、鉛直変化を図-11、図-12に示す。

④ 溶解性鉄、溶解性マンガン

深水層が無酸素状態になると、水に不溶状態の3価の鉄が還元されて、溶存状態の2価の鉄イオン量

が増加する。とくにこの鉄は底泥の還元化による、底泥からの供給が主体を占めるので、深水層中の溶解性鉄量の分布は深水層の還元状態を見る良い指標であると言われている。溶解性マンガンも同様な位置を占める元素である。

北山ダムでも、夏から秋にかけて底層に溶解性鉄、溶解性マンガンが増加し、還元状態となっていることを示している。

代表的な鉛直変化を図-13、図-14に示す。

⑤ 窒素・磷

植物プランクトンの増殖に伴い水中の植物が利用できる無機態の窒素（硝酸態、アンモニア態） 磷（磷酸態磷）は減少し、一方プランクトンの同化活動により有機態の窒素・磷は増加すると言われている。

北山ダムでも、表層では春から夏に無機態の窒素・磷の割合が減少し、有機態の窒素・磷の割合が増加しており、生産活動が活発な事を示している。

底層では還元状態となる夏から秋にかけて、底泥からの溶出あるいは還元によるアンモニア態窒素及び磷酸態磷が増加している。

代表的な季節変化、鉛直変化を図-15、図-16に示す。

⑥ クロロフィル量

クロロフィルaは、一次生産者（光合成生物）の現存量の測定に使われる。水中の全窒素、全磷量と植物プランクトン量との間には、とくにその増殖のさかんな夏期を中心に一定の相関関係が成立することが、一般にみとめられている。

このことから、クロロフィル量は水域の富栄養化度を判定する重要な指標であると言われている。

北山ダムのクロロフィル量は表層で春から増加し、ピークは夏の終わりから9月頃まで続く、鉛直方向には透明度の2倍程度のところにピークが現われ、pH及び溶存酸素飽和度の鉛直分布と重ねてみると、5~10m層までくらいが生産活動が活発のようである。

代表的な四季変化、鉛直変化を図-17、図-18に示す。

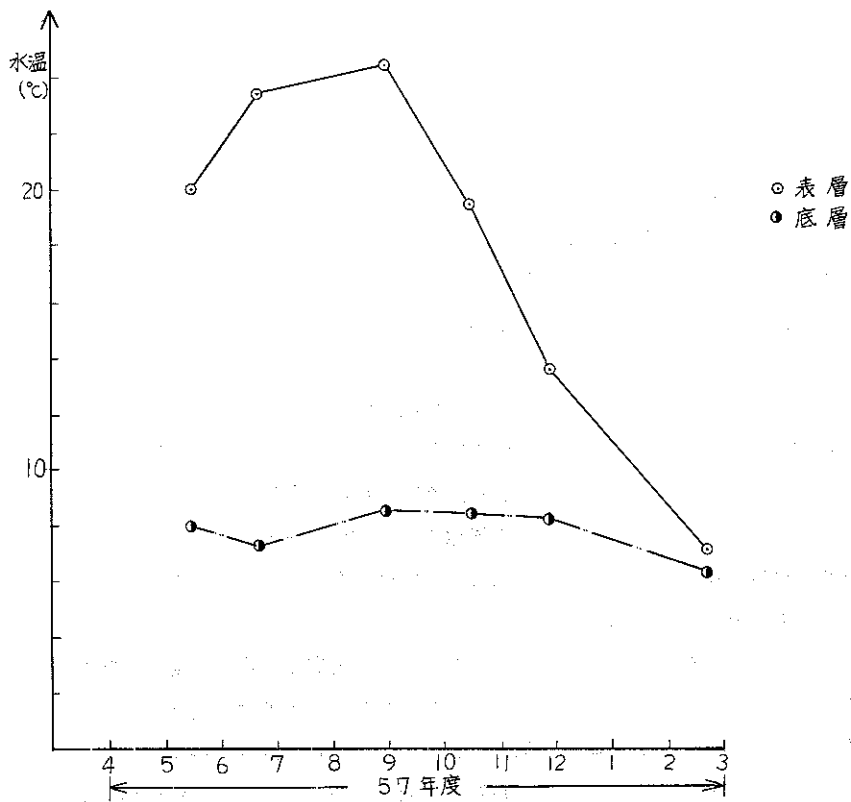


图-7 水温季節変化

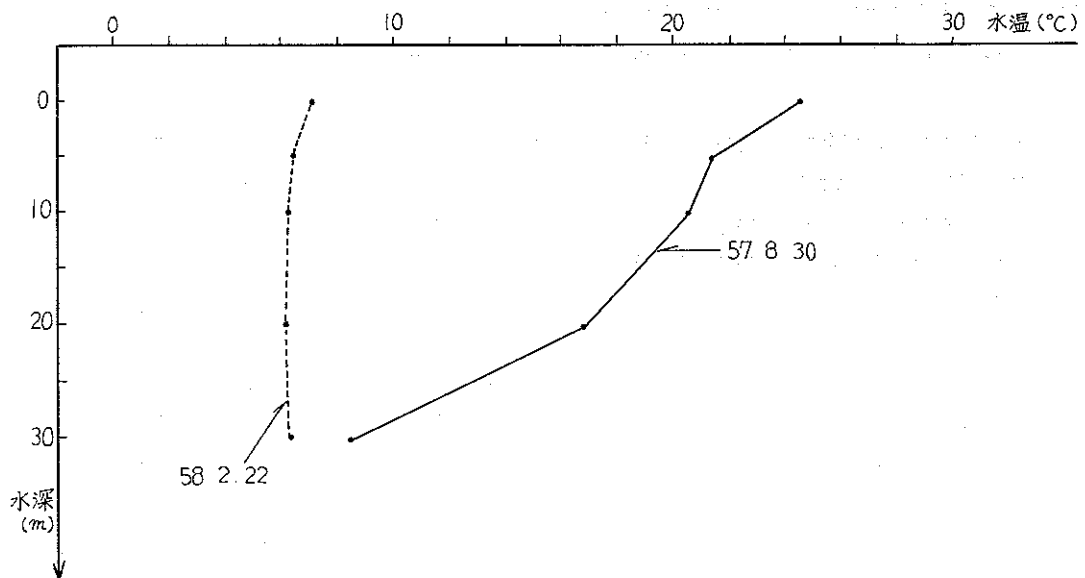


图-8 水温鉛直変化

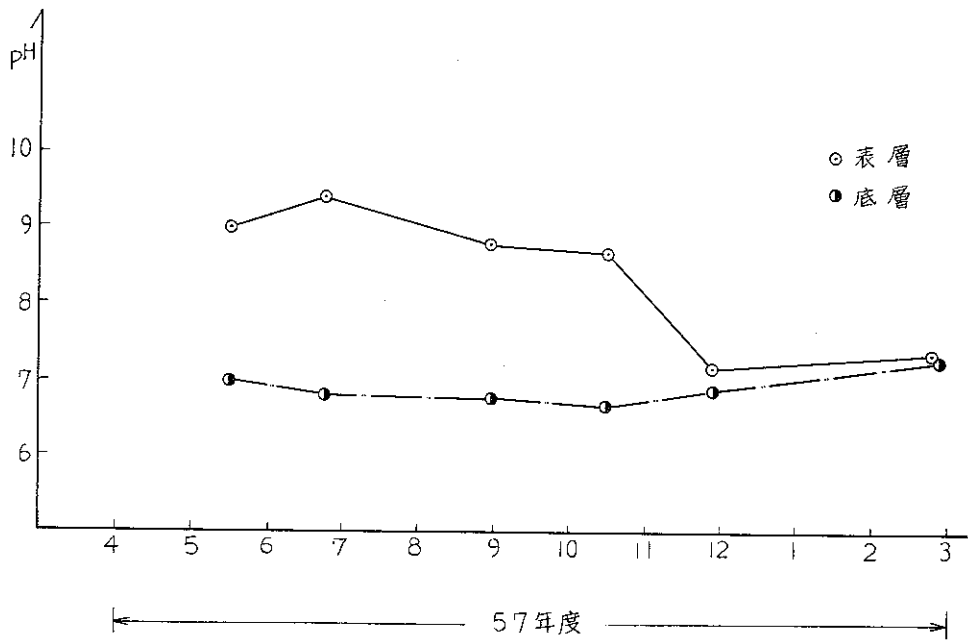


图-9 pH季節變化

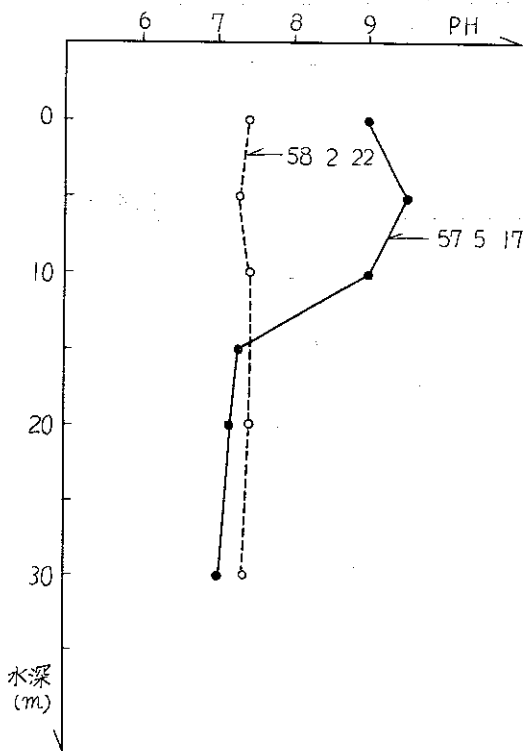


图-10 pH鉛直變化

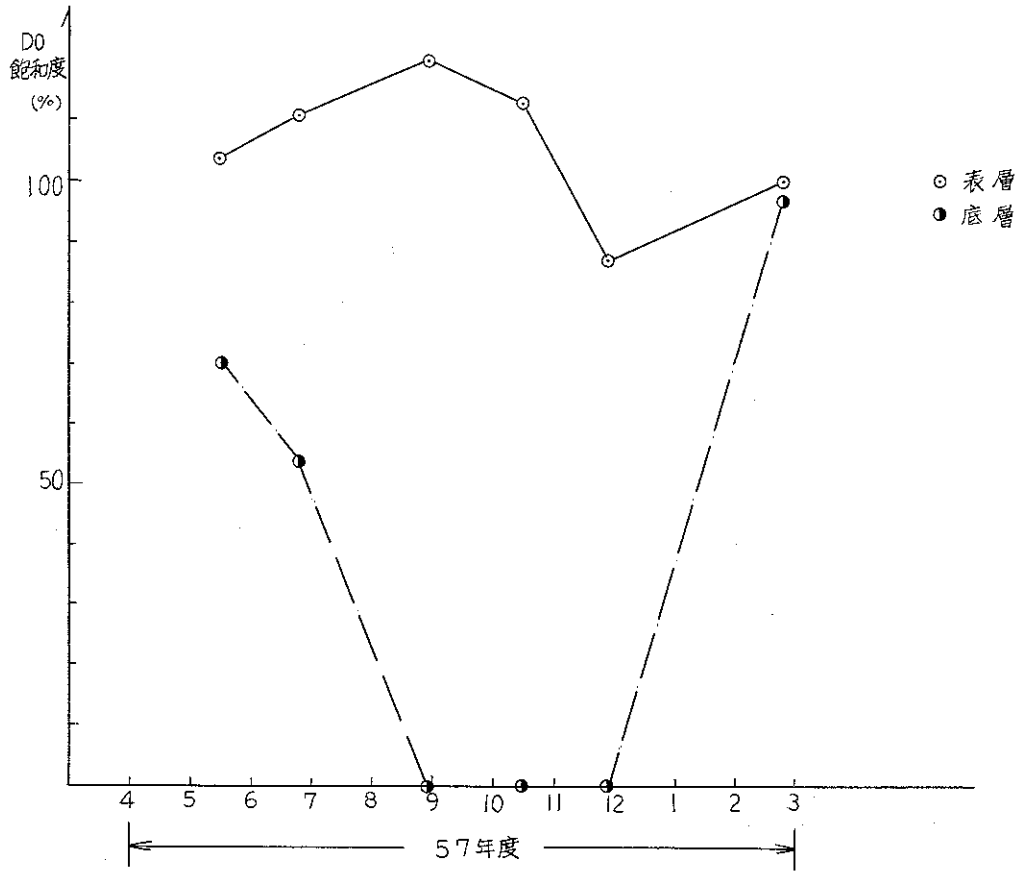


图-11 溶存酸素飽和度季節变化

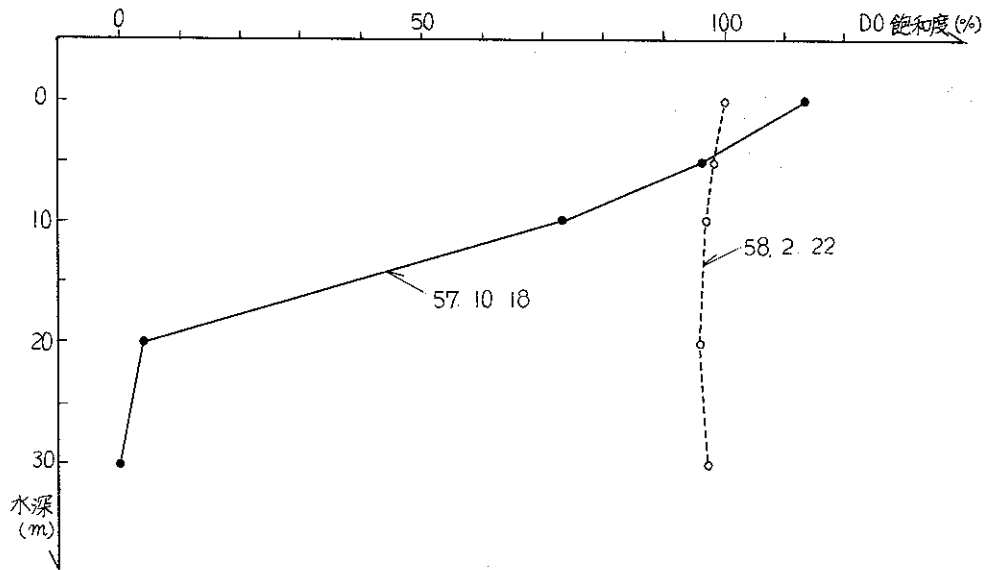


图-12 溶存酸素飽和度鉛直变化

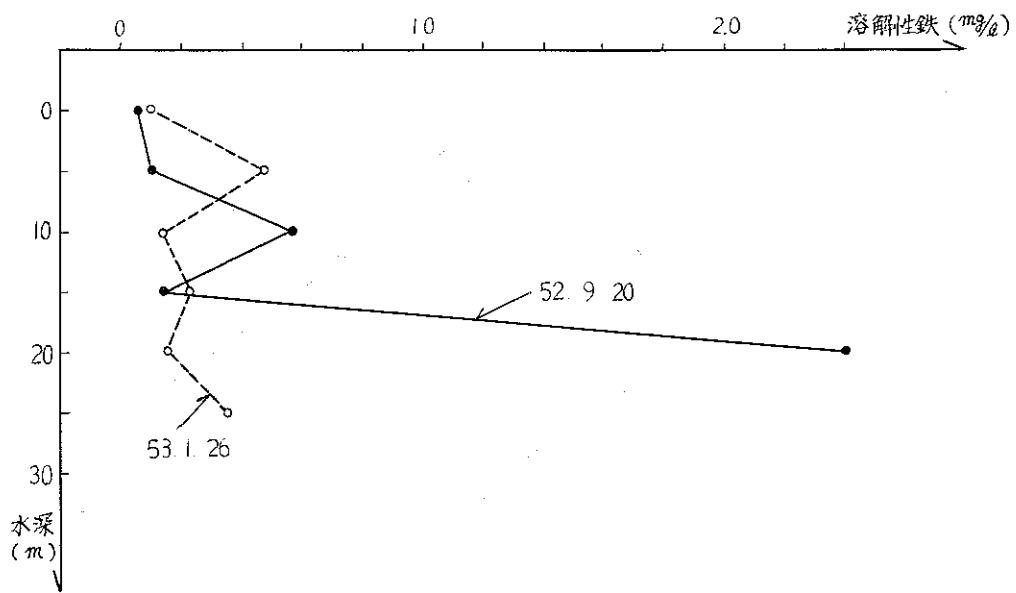


図-13 溶解性鉄鉛直変化

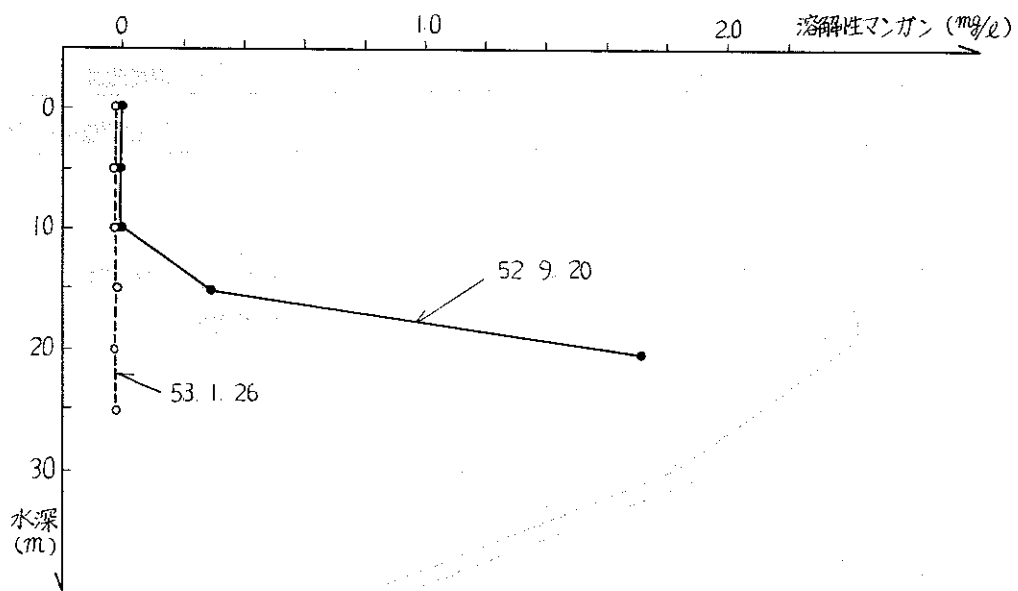


図-14 溶解性マンガン鉛直変化

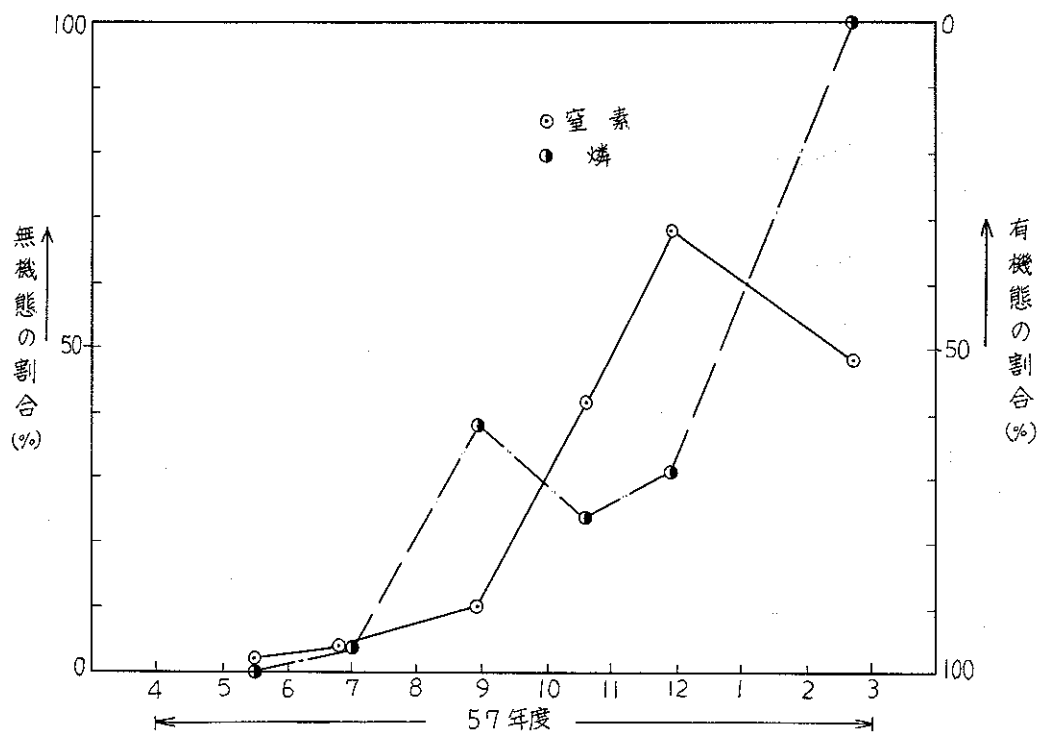


図-15 無機態栄養塩割合季節変化 (表層)

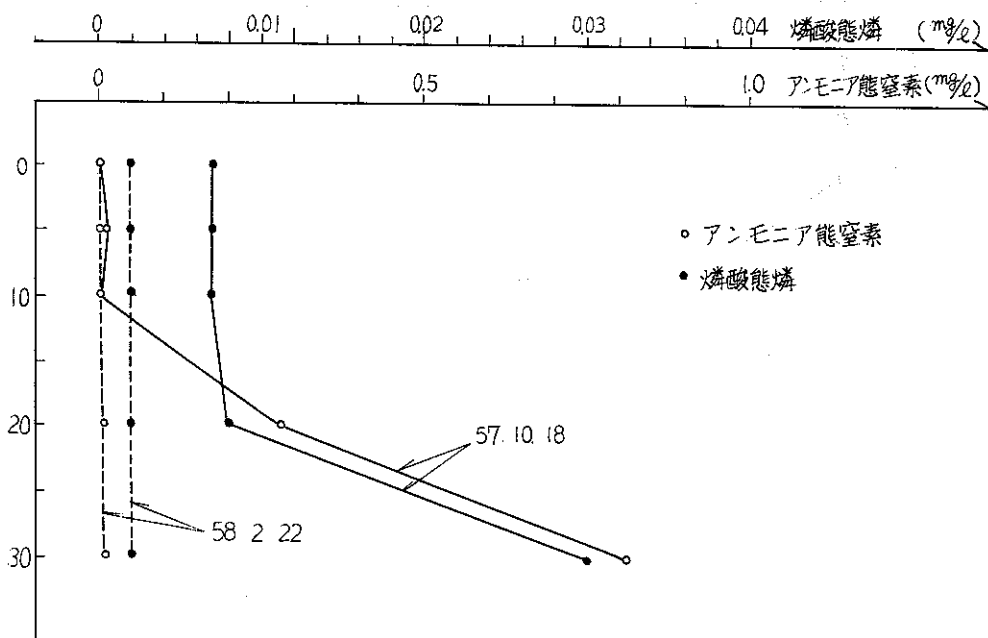


図-16 アンモニア態窒素及び磷酸態磷鉛直変化

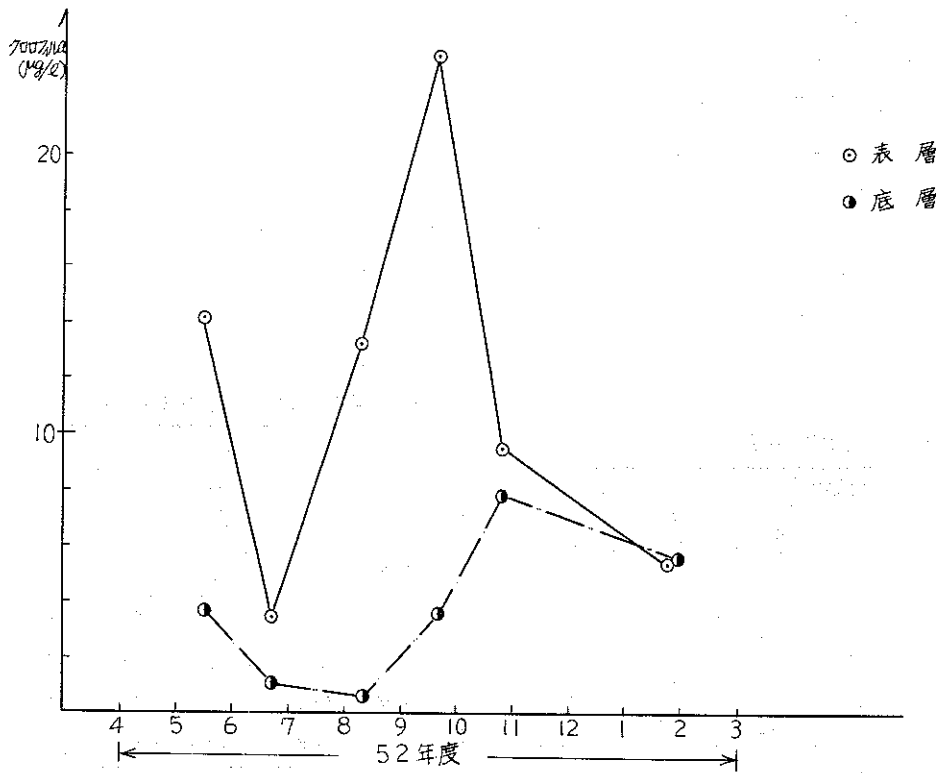


図-17 クロロフィルa季節変化

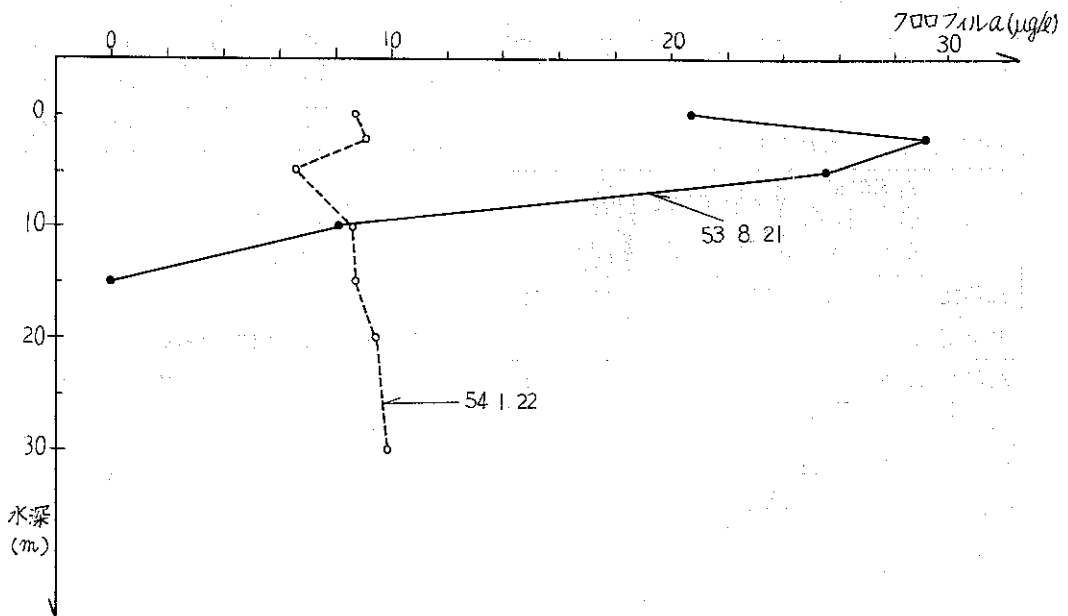


図-18 クロロフィルa鉛直変化

(2) 環境基準類型との比較

環境上の望ましい基準としての環境基準は、湖沼では特に富栄養化の指標である窒素・磷が、従来の生活環境項目の中に追加して定められている。

また、窒素・磷の環境基準を検討する際に、参考項目としてクロロフィルa、透明度及び溶存酸素飽和度が示されている。

北山ダムの水質調査結果を、これら基準と対比してとりまとめたのが表-11及び表-12である。

表-11 北山ダム水質調査結果

年	全層年間平均値 ()内75%値			
	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)
52年度	7.0	2.3 (2.5)	2.5	5.9
53年度	7.3	3.1 (3.2)	3.3	6.8
56年度	7.4	2.0 (2.3)	3.9	8.7
57年	7.6	2.3 (2.3)	4.1	7.6
58年	7.3	2.5 (2.7)	2.5	7.1
環境基準 A	6.5	3	5	7.5
	8.5	以下	以下	以上

注) 1 年間平均値は年平均及び年度平均を用いた。

表-12 北山ダム水質調査結果

年	表層年間平均値 (mg/L)		表層期値 (mg/m ³) クロロフィルa	透明度 (m)	底層夏期値 (%) 溶存酸素飽和度	N:P
	窒素	磷				
52年度	0.437	0.035	13.2	—	25	12
53年度	0.501	0.045	22.7	0.8	8	11
56年度	0.332	0.018	7.6	1.0	9	18
57年	0.358	0.022	8.7	1.8	0	16
58年	0.379	0.018	—	1.6	—	21
環境基準 Ⅲ	0.4	0.03	(参考項目)	2	—	—
	以下	以下	20以下	以上	—	—

注) 1 年間平均値は年平均及び年度平均を用いた。

2 夏期値は、8月の数値とした。

磷・クロロフィルa及びSSには基準より余裕があるのに、透明度が悪いのは、北山ダムでは土砂等の微細な無機鉱物により透明度が減少しているのではないかとと思われる。

また、流入河川とダム湖の窒素・磷の無機・有機の割合を表-13に示すが、河川から流入する窒素・磷は、無機態の占める割合が高く、ダム湖内では有機態の占める割合が高くなっている。

表-13 窒素・磷濃度の無機・有機の割合

区 分		窒 素		磷		
		無 機	有 機	無 機	有 機	
流 入 河 川	嘉瀬川	57年	0.78	0.26	0.50	0.50
		58年	0.83	0.17	0.70	0.30
		平均	0.79	0.22	0.60	0.40
	初瀬川	57年	0.82	0.18	0.65	0.35
		58年	0.92	0.08	0.77	0.23
		平均	0.87	0.13	0.71	0.29
	浦田川	57年	0.87	0.13	0.47	0.53
		58年	0.74	0.26	0.57	0.43
		平均	0.81	0.20	0.52	0.48
流入河川平均		0.82	0.18	0.63	0.37	
北山ダム	57年	0.58	0.42	0.24	0.76	
	58年	0.57	0.43	0.17	0.83	
	平均	0.58	0.42	0.21	0.79	

注) 1. 流入河川平均は各河川流量を重みとした加重平均である。

2. ダム水質は、全層平均の年平均値である。

(5) その他の水質調査結果

北山ダム流域は、人為汚染源が少なく農山林系や自然汚濁負荷の寄与が大きいものと思われたため、流域内の河川最上流、井戸水、雨水について水質調査を実施した。その結果を表-14に示す。

流入河川最上流、井戸水は季節の変動がほとんどなく、窒素・磷濃度は環境基準Ⅲレベルを示している。

井戸水は、河川最上流より数値が高く、人為汚染が考えられる。三瀬村役場の磷は他より高く地質との関係も考えられる。

河川最上流でも、この程度の水質であることから、環境基準Ⅰ、Ⅱレベルに類型することは相当厳しいものと思われる。

雨水については、十分な検体量採取が難ずかしく、

調査回数は少ないが、他の機関の調査結果と比較して異常な数値ではない。環境基準Ⅱレベルの水質を示しており、降雨による負荷も流入負荷として積算している。

なお、雨水については、降り始めと終わりでは水質が違うので、降り始めから終わりまでの全量を採取し分析に供した。

表-14 北山ダム関連水質調査結果

区 分		pH	DO	COD	SS	T-N	無機N	有機N	T-P	PO ₄ -P	有機-P	
井戸水	湖畔荘 58年平均 ⁿ⁼⁵	7.3	10.5	0.4	0.3	0.300	0.266	0.034	0.026	0.026	0	
	三瀬役場 ⁿ⁼⁴	6.5	9.0	0.3	0.3	0.335	0.286	0.049	0.057	0.057	0	
河川最上流	嘉瀬川 ⁿ⁼⁶	7.3	10.5	1.5	2.4	0.235	0.195	0.040	0.030	0.026	0.004	
	初瀬川 ⁿ⁼³	7.1	10.3	0.9	0.9	0.101	0.081	0.020	0.020	0.020	0	
雨水		57.5.28	5.5	-	1.0	0	0.179	0.071	0.108	0.009	0.002	0.007
	湖畔荘	58.6.19	6.3	6.6	1.6	0.4	0.242	0.115	0.127	0.010	0.010	0
	平均		5.9	6.6	1.3	0.2	0.211	0.093	0.118	0.010	0.006	0.004

5 水質予測

湖沼の富栄養化を防止するための対策を立案するためには、将来の水質変化を予測し、必要かつ合理的な対策を見出していく必要がある。

湖沼などの窒素・磷水質予測のための数理モデルには、種々研究がなされているが、Vollenweiderにより提案された磷負荷モデルを、北山ダムに適用してみる。

これは数多くの湖沼におけるデータを基にして、年平均クロロフィルa量濃度と全磷濃度との関係式、湖沼に対する磷の年間負荷量と年平均全磷濃度との関係式として整理されたものである。

このモデルにより予測を行う場合には、対照湖沼におけるデータを用い適合性を検討することが不可欠であり、52年、57年、58年のデータによりその適合性を検討してみる。

うまく適合しない場合は、

- 1) 湖沼の特性が、統計処理を行った湖沼群の特性と著しく異なる。

- 2) 磷負荷量、クロロフィルa濃度等の推定に誤りがある。

このいずれかであるか、検討する必要がある。

しかし、かなり容易に使う利点があり、長期的な水質の変化傾向を予測するのに有効なモデルである。

(1) 流入負荷量の算定

負荷流出の概念を図-18に示すが、負荷量の算定には、発生負荷量原単位や流出率など、いろいろの仮定の上に乗って煩雑な計算をせねばならない。

現在、作業が進められているがここでは水質予測に必要な流入負荷量について推計してみる。

① 河川からの流入負荷量（流量×水質）

流量については、ダムに流入する水量は毎日観測されており、これを基に単位流域面積当たりの比流量を算出する。更にこの比流量を基に各河川毎の流量を算出する。

この比流量について、その妥当性を検討するため

嘉瀬川の官人橋の流況データを基に、ダムから下流官人橋までの比流量を算出して比較検討してみた。

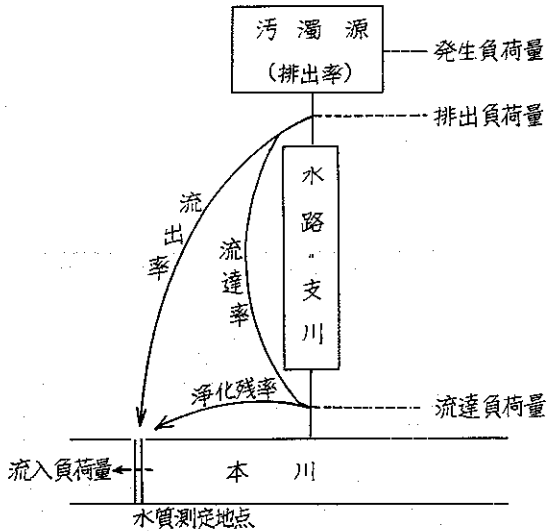


図-19 負荷流出の概念図

比流量計算式 ($m^3/S \cdot Km$)

1) 北山ダム流入河川流域

$$\frac{(\text{年間流入総量} - \text{湖面年間降水量}) \div 365 \div 86,400}{\text{北山ダム流入河川流域面積}}$$

2) 北山ダム下流・官人橋間流域

$$\frac{\text{官人橋平均流量} - (\text{年間放出量} \div 365 \div 86,400)}{\text{北山ダム下流・官人橋間流域面積}}$$

計算結果を表-7に示す。

山間部でもあり、湖沼にはよく湧水等が存在することもあり、北山ダム流域の方が大きな値になるのではないかと予想したが、反対に小さな値となっており、北山ダムには著しい湧水などはなく、河川流量推計には、妥当な数値であろうと思われたので、これを使用した。

水質については、流量データが年平均値なので、河川水質も各年平均値を使用した。

② 湖面直接流入負荷量

直接湖面に流入する負荷量については、それぞれ次のように個別に推計した。

1) 降雨

降雨負荷は、降雨強度区分毎に求めるのが妥当であるという報告もあるが、ここでは、
(湖面積×年間降水量÷365)×雨水水質として推計した。

雨水水質としては、データが少ないが57年、58年の2回の平均値を使用した。

2) 湖周辺発生源

湖周辺に立地する旅館・飲食店等は、届出水量や使用水量及び排水水質から推計した。

3) 釣り客まきえ

年間釣り客×1人当たりのまきえ量から推計した。

4) 湖面養殖

養殖場への飼料投入量をそのまま負荷とみなした。正確には魚への吸収、排泄による回帰など複雑な計算が必要であるが、データ不足のため給餌量を負荷量とみなした。

(2) 水質予測結果

流入負荷量の推計結果を表-15に示す。

河川から運び込まれる負荷量が大半を占めており、この発生源は流域特性でも記述したとおり、農山林系、自然系が大半を占めているものと思われる。

この推計した流入負荷量を用いて、Vollenweider式により水質を計算した結果を表-16に示す。またこの式への適合性をみるため、実測水質をグラフにプロットしたのが図-19、図-20である。

実線が Vollenweider の式を示しているが、北山ダムは比較的良くこの式に適合している。

そこで、将来負荷量を推計し、将来水質を推計してみる。

人口などの河川流域特性はあまり変化していないので、河川流入負荷は57年当時のものを採用し、21世紀県民の森整備計画による観光客増加に伴い飲食店、釣客の負荷量が1.2倍(60万人/50万人)に増加したとした場合の水質予測結果を表-16に示している。更にこの全層年間平均予測値に表-17の表層平均値/全層平均値の値を乗じて表層年間平均を単純に試算すると、窒素0.420mg/L、磷0.025mg/Lとなり、環境基準Ⅲ(窒素0.4mg/L以下、磷0.03mg/L以下)に該当するものの余裕のない状況となる。

表-15 流入負荷量推計結果

注) 上段... COD
中段... 窒素
下段... 磷

年	河川流入負荷量						直接負荷量						計	対 COD 比		
	比流量 m³/S・Km	嘉瀬川 24.02 Km³		初瀬川 12.88 Km³		浦田川 1.74 Km³		降雨負荷 2,002 Km³		養殖釣客	飲食 店等	周辺 山林				
		水質 (mg/l)	負荷量 (kg/日)	水質 (mg/l)	負荷量 (kg/日)	水質 (mg/l)	負荷量 (kg/日)	年雨量 (mm)	水質 (mg/l)						負荷量 (kg/日)	
52	0.053	1.4	154.0	1.3	76.7	2.1	16.7		1.3	13.8	4.7	5.5	23.1	120.5	415.0	100
		0.458	50.4	0.467	27.5	0.654	5.2	1,929	0.211	2.2	2.5	0.7	3.2	31.7	123.4	30
		0.056	6.16	0.037	2.19	0.049	0.39		0.010	0.11	0.69	0.09	0.28	2.45	12.36	3
56	0.060	1.4	174.3	1.1	73.4	※ 負荷量	15.2			16.5					433.2	100
		0.616	76.7	0.578	38.6		7.9	2,311	同上	2.7	同 上				164.0	38
		0.053	6.60	0.039	2.60		0.36			0.13					13.20	1
57	0.063	1.4	183.0	1.4	98.2	1.6	15.2			17.7					467.9	100
		0.646	84.5	0.446	31.3	0.837	7.9	2,485	同上	2.9	同 上				164.7	35
		0.060	7.84	0.031	2.17	0.038	0.36			0.14					14.02	3
58	0.072	1.4	209.2	1.8	144.2	※ 負荷量	15.2			19.3					541.7	100
		0.498	74.4	0.441	35.3		7.9	2,700	同上	3.1	同 上				158.8	29
		0.040	5.98	0.022	1.76		0.36			0.15					11.76	2
将来			183.0		98.2		15.2			17.7	4.7	6.6	27.7	120.5	473.6	
			84.5		31.3		7.9			2.9	2.5	0.8	3.8	31.7	165.4	
			7.84		2.17		0.36			0.14	0.69	0.11	0.34	2.45	14.10	

表-16 水質予測結果

Vollenweider の式

$$(\bar{P})_{入} = 1.55 \left\{ (\bar{P})_j / (1 + \sqrt{T(w)}) \right\}^{0.82}$$

$$(\bar{N})_{入} = 5.34 \left\{ (\bar{N})_j / (1 + \sqrt{T(w)}) \right\}^{0.78}$$

$$(\bar{P})_j = \frac{\text{年間磷流入負荷量}}{\text{年間流入水量}} \times \text{流入全磷濃度 (mg/m}^3\text{)}$$

$$(\bar{N})_j = \frac{\text{年間窒素流入負荷量}}{\text{年間流入水量}} \times \text{流入全窒素濃度 (mg/m}^3\text{)}$$

$$T(w) = \frac{\text{貯水量}}{\text{年間流入水量}} \times \text{滞留時間(年)}$$

(P)入 … 水域内全磷濃度 (mg/m³)

(N)入 … 水域内全窒素濃度 (mg/m³)

年	年間流入水量 m³/年	年平均貯水量 m³	流入負荷量 kg/日		計算水質 mg/l		全層年間平均水質 mg/l	
			窒素	磷	窒素	磷	窒素	磷
52	91,990,200	12,808,300	123.4	12.36	0.523	0.029	0.568	0.032
		$\sqrt{T(w)} = 0.3731$						
56	104,856,600	10,673,300	164.0	13.20	0.608	0.028	0.512	0.034
		$\sqrt{T(w)} = 0.3190$						
57	109,338,100	14,769,700	164.7	14.02	0.574	0.028	0.539	0.037
		$\sqrt{T(w)} = 0.3675$						
58	125,671,200	17,118,600	158.8	11.76	0.500	0.022	0.481	0.018
		$\sqrt{T(w)} = 0.3691$						
将来	109,338,100	14,769,700	165.4	14.10	0.576	0.028		

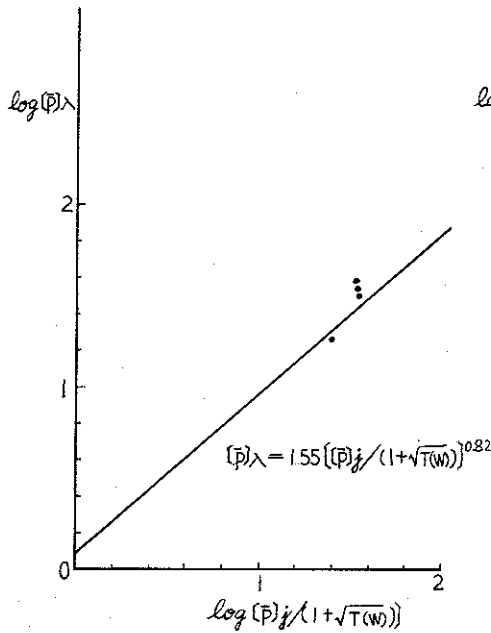


図-20 磷水質予測

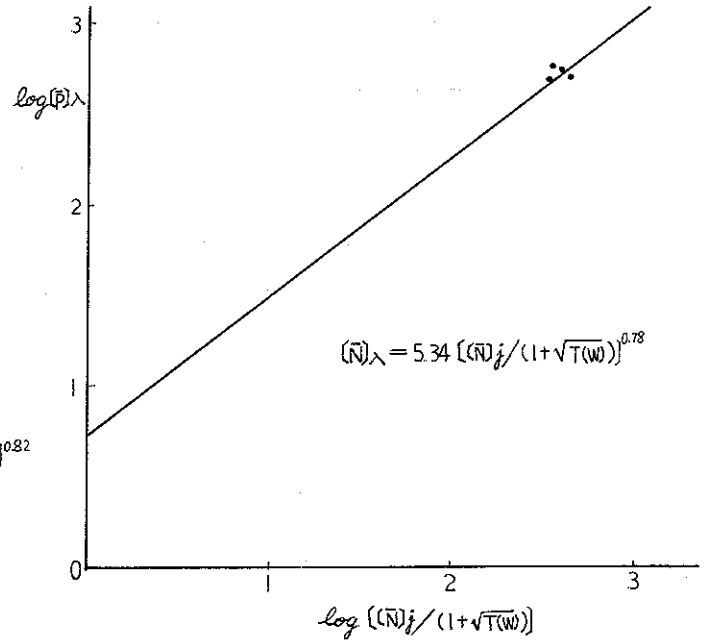


図-21 窒素水質予測

表-17 全層平均値と表層平均値との比

年	COD			窒素			磷		
	全層年間 平均	全層年間 75%	全層75% 全層平均	全層年間 平均	表層年間 平均	表層平均 全層平均	全層年間 平均	表層年間 平均	表層平均 全層平均
52	2.3	2.5	1.09	0.568	0.437	0.77	0.032	0.035	1.09
53	3.1	3.2	1.03	0.630	0.501	0.80	0.035	0.045	1.29
56	2.0	2.3	1.15	0.512	0.332	0.65	0.034	0.018	0.53
57	2.3	2.3	1.00	0.539	0.358	0.66	0.037	0.022	0.59
58	2.5	2.7	1.08	0.481	0.379	0.79	0.018	0.018	1.00
平均			1.07			0.73			0.90

6 まとめ

北山ダムは、52年より調査を実施しており環境基準類型指定に向けての作業も進められており、今回北山ダムの全体像をとりまとめ、簡単な流入負荷量推計による将来水質予測までを行った。

その結果、負荷量としては河川からの流入負荷量が大半を占め、その汚濁源としては農山林系や自然系が大半を占めていると思われる。これは負荷削減対策を講じることが困難であり、水質保全のためには、今後の開発による負荷量増加を極力抑制する必要がある。

なお、夏場の水道異臭味障害については、放流方

法等にも起因しており、底層への酸素曝気などの対策が必要である。

7 文献

- (1) 窒素・磷等水質目標検討会：湖沼水質調査の手引 昭和57年
- (2) 合田 健：国立公害研究所報告 23 33~48 (1981)
- (3) 川島月夫他：鹿児島県環境センター所報第1号 別刷