

資料 - 3  
第 3 回 姉川・高時川河川環境 WG  
平成 16 年 10 月 6 日

# 高時川および丹生ダム貯水池の水質

平成 16 年 10 月 6 日

琵琶湖河川事務所

# 目 次

§ 1 現状の水質.....	1
1.1 姉川・高時川の水質.....	1
1.2 琵琶湖の水質.....	11
1.3 貯水池水質の現状.....	14
§ 2 貯水池及び高時川の水質予測.....	17
2.1 貯水池水質予測.....	17
2.2 下流河川水質予測.....	32

# § 1 . 現状の水質

## 1.1 姉川・高時川の水質

### (1) 環境基準と水質調査結果

滋賀県では、瀬田川および琵琶湖に流入する主要な河川に、生活環境の保全に関する環境基準の類型指定を行っており、毎年、環境基準の適合状況等を把握するため水質調査を実施している。

環境基準監視調査河川の類型指定はおおむね、AA、A 類型が多く、水質調査は毎月1回（健康項目は年4回）実施している。

姉川はAA 類型に指定されており、基準値を概ね達成している。

表 1 - 1 - 1 姉川の現況水質(2002 年)

コ ド ド ド	都 道 府 県	統 番 号 点	地 番 号 点 型	類 型	調 査 年 度	姉川									調査担当					
						美浜橋									滋賀県琵琶湖環境部 環境管理課			最大値	最小値	平均値
2	5	12-1	AA	2002	水域名	地点名	5/13	6/10	7/5	8/5	9/5	10/4	11/11	12/5	1/9	2/5	3/5			
一	河	採水月日			4/27	5/13	6/10	7/5	8/5	9/5	10/4	11/11	12/5	1/9	2/5	3/5				
		採水時刻 開始時			10:30	13:30	12:00	10:50	11:00	11:40	10:15	10:35	9:45	8:50	9:30	9:47				
		天候			晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	曇	曇	曇	曇				
		気温			16.0	25.5	26.5	31.2	33.0	29.8	24.0	12.9	12.0	1.5	6.1	7.0	33.0	1.5	18.8	
		水温			13.0	18.7	24.5	26.8	27.1	27.4	22.5	11.0	11.0	3.1	6.0	6.5	27.4	3.1	16.5	
		流量			12.4	18.5	1.27	1.40	1.50	0.225	0.220	19.7	9.07	11.9	10.8	19.0	19.7	0.220	8.83	
		採水位置			01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01				
		透視度			>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	40	>100	>100	>100	>100	>100	40	95	
		pH			7.5	7.5	7.9	8.0	8.0	7.9	7.7	7.3	7.3	7.5	7.5	7.5	8.0	7.3	7.6	
		DO			12	10	13	11	11	10	7.4	12	14	13	13	12	14	7.4	12	
		BOD			0.8	0.7	<0.5	0.5	0.6	1.0	1.2	<0.5	<0.5	1.0	0.8	1.7	1.7	<0.5	0.8	
		COD			2.2	1.4	2.0	1.3	1.5	2.1	1.9	2.3	1.2	1.8	0.6	2.3	2.3	0.6	1.7	
		SS			<1	1	<1	2	3	<1	2	15	1	<1	<1	6	15	<1	3	
		大腸菌群数			3.3E+02	2.3E+02	4.0E+01	7.0E+02	7.0E+02	7.8E+01	1.7E+04	2.3E+02	3.3E+02	6.8E+01	1.1E+02	7.8E+01	1.7E+04	4.0E+01	1.7E+03	
		n-ヘキサン抽出物質																		
		全窒素			0.51	0.42	0.86	0.46	0.76	0.53	1.0	0.60	0.49	0.51	0.82	0.52	1.0	0.42	0.62	
		全りん			0.020	0.025	0.029	0.037	0.019	0.070	0.067	0.036	0.023	0.019	0.025	0.019	0.070	0.019	0.032	

出典：平成 15 年(2003 年)版環境白書(滋賀県)より

表 1 - 1 - 2 生活環境の保全に関する環境基準（河川）

	利用目的の適用性	水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道 1 級 自然環境保全および A 以下の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	50MPN/100ml 以下
A	水道 2 級・水産 1 級 水浴 および B 以下の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	2mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1000MPN/100ml 以下
B	水道 3 級 水産 2 級 および C 以下の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3mg/l 以下	25mg/l 以下	5mg/l 以上	5000MPN/100ml 以下
C	水産 3 級 工業用水 1 級 および D 以下の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5mg/l 以下	50mg/l 以下	5mg/l 以上	-
D	工業用水 2 級 農業用水 および E 以下の欄に掲げるもの	6.0 以上 8.5 以下	8mg/l 以下	100mg/l 以下	2mg/l 以上	-
E	工業用水 3 級 環境保全	6.0 以上 8.5 以下	10mg/l 以下	ごみ等の浮遊が認められないこと	2mg/l 以上	-

高時川は、水質に関する環境基準の類型指定がされていないが、姉川同様に **AA 類型基準相当の良好な水質**である。

表 1 - 2 高時川の現況水質

高時川 小原橋地点

年	月	日	時	分	流量 m <sup>3</sup> /s	気温	水温	pH at20	DO mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	大腸菌 MPN/100ml	T-N mg/l	T-P mg/l	クロロフィルa μg/l
2002	4	26	14	0	7.59	15.0	12.3	7.6	10.4	0.6	1.1	3.4	4.9.E+01	0.25	0.017	0.8
2002	5	20	14	0	5.53	14.1	11.8	7.8	10.1	0.3	1.3	2.7	3.3.E+02	0.25	0.016	1.5
2002	6	10	13	55	2.15	23.5	17.4	7.6	9.2	0.5	1.2	2.2	1.3.E+02	0.26	0.015	1.8
2002	7	24	14	25	3.63	33.2	22.0	7.4	8.3	0.3	1.1	2.2	1.3.E+03	0.27	0.019	0.5
2002	8	20	13	20	2.07	22.3	19.4	7.7	8.8	0.4	1.6	2.4	3.3.E+03	0.35	0.021	1.9
2002	9	12	13	10	1.30	24.4	21.7	8.0	8.9	0.4	1.2	0.8	1.1.E+04	0.24	0.013	1.4
2002	10	10	14	20	2.15	18.3	15.2	7.7	9.3	0.4	1.0	0.9	3.3.E+02	0.45	0.014	0.6
2002	11	19	10	10	12.79	7.0	7.6	7.2	11.5	0.4	1.2	3.3	2.3.E+02	0.33	0.024	0.2

出典：水資源機構水質定期調査結果より

(2) 姉川・高時川の経年的な変化と他河川との比較

BODについては姉川、高時川ともにほぼ横ばい傾向である。また、北湖東部流入河川、北湖西部流入河川、南湖・瀬田川流入河川の主な河川で比較すると、姉川、高時川は比較的良好な水質であることがわかる。

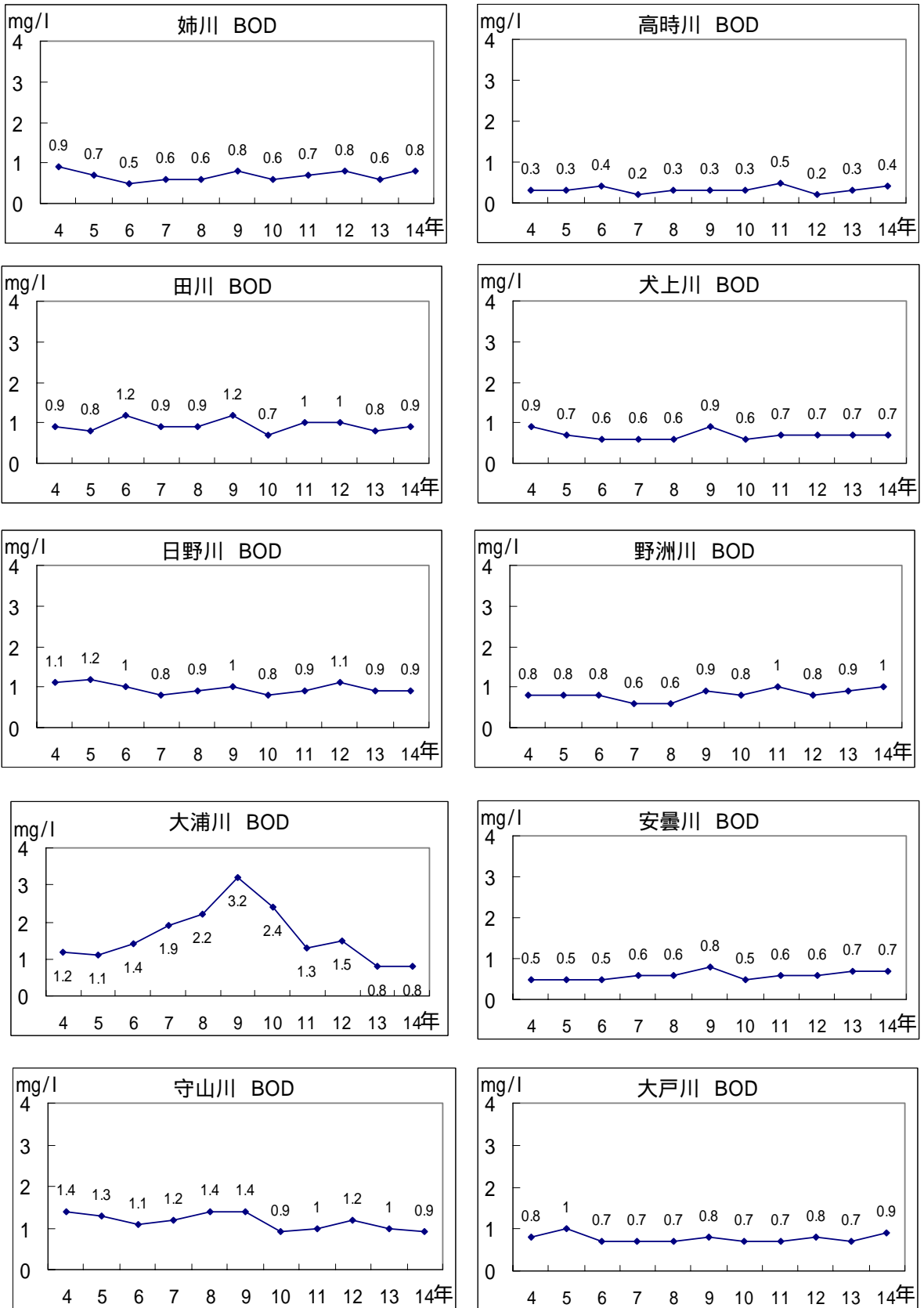


図 1 - 1 姉川・高時川の経年変化と他河川との比較 (BOD)

COD については、概ね横ばいではあるが、姉川で近年やや増加の傾向がうかがえる。  
北湖東部流入河川、北湖西部流入河川、南湖・瀬田川流入河川の主な河川で比較すると、姉川、高時川は比較的良好な水質であることがわかる。

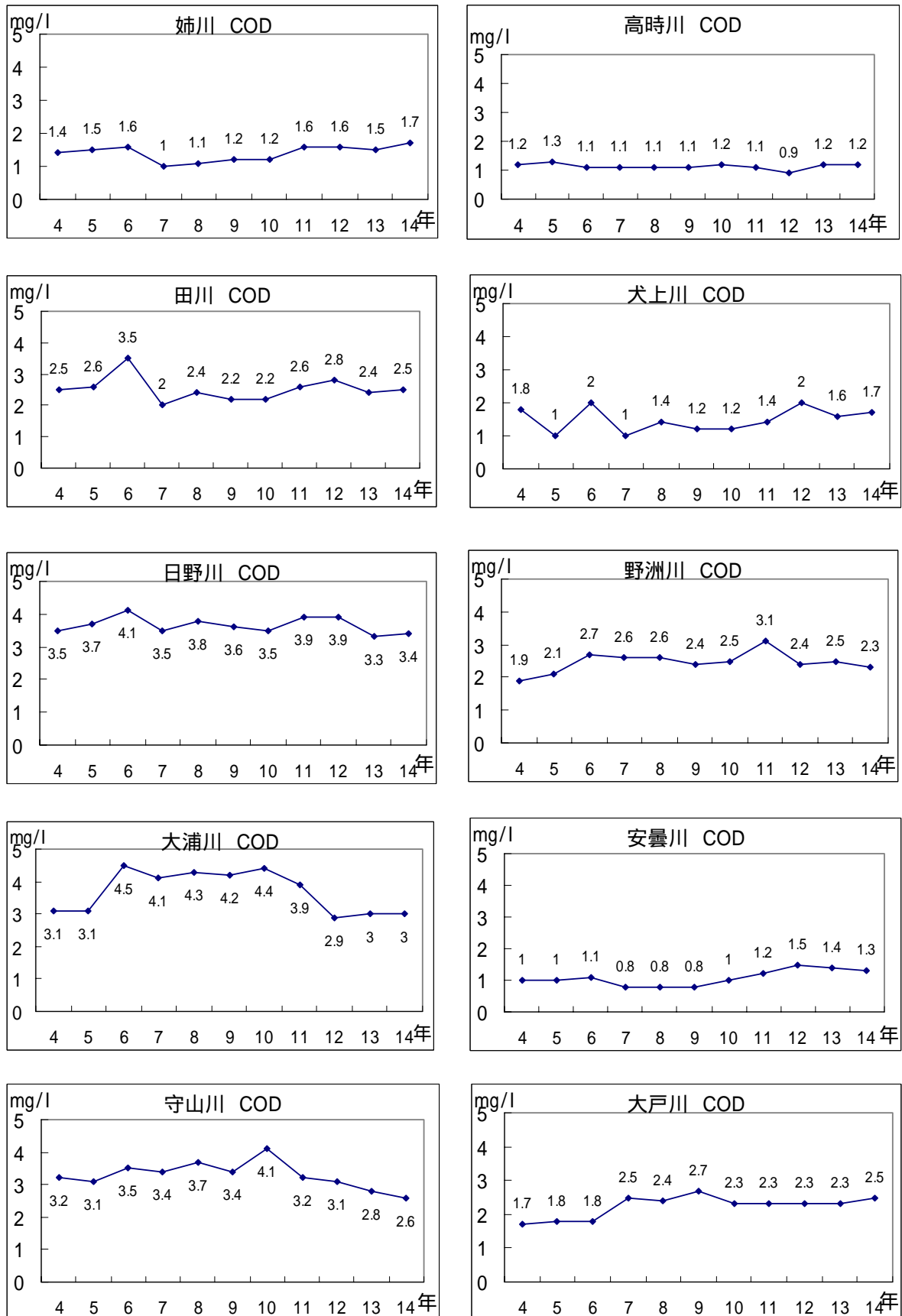


図 1 - 2 姉川・高時川の経年変化と他河川との比較(COD)

T-Nについては、姉川でやや増加の傾向がうかがえる。高時川は横ばいである。特に高時川は、北湖東部流入河川、北湖西部流入河川、南湖・瀬田川流入河川の主な河川と比較すると、比較的良好な水質であることがわかる。

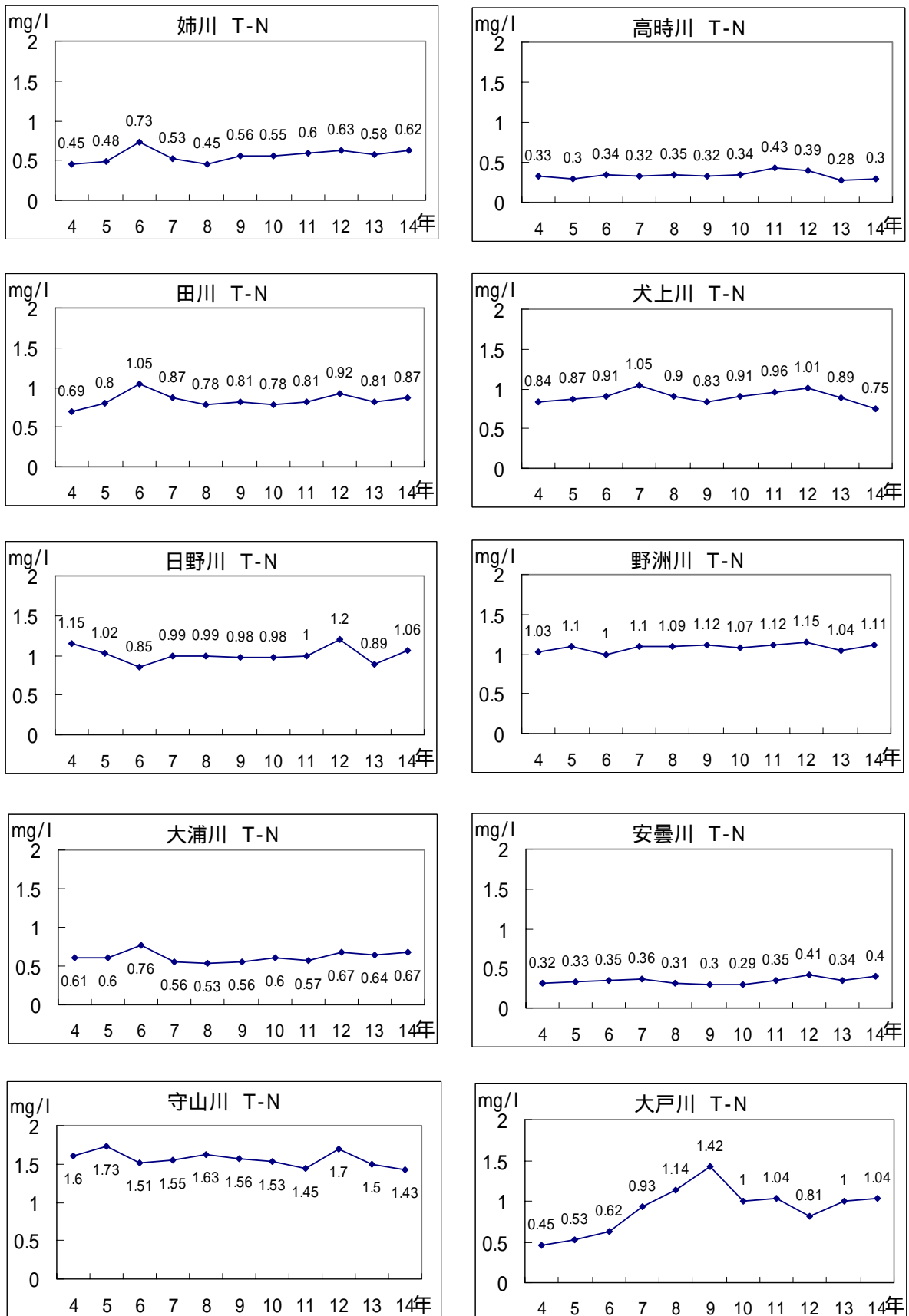


図1-3 姉川・高時川の経年変化と他河川との比較(T-N)

T-P については、姉川、高時川ともにほぼ横ばい傾向である。特に高時川は、北湖東部流入河川、北湖西部流入河川、南湖・瀬田川流入河川の主な河川と比較すると、比較的良好な水質であることがわかる。

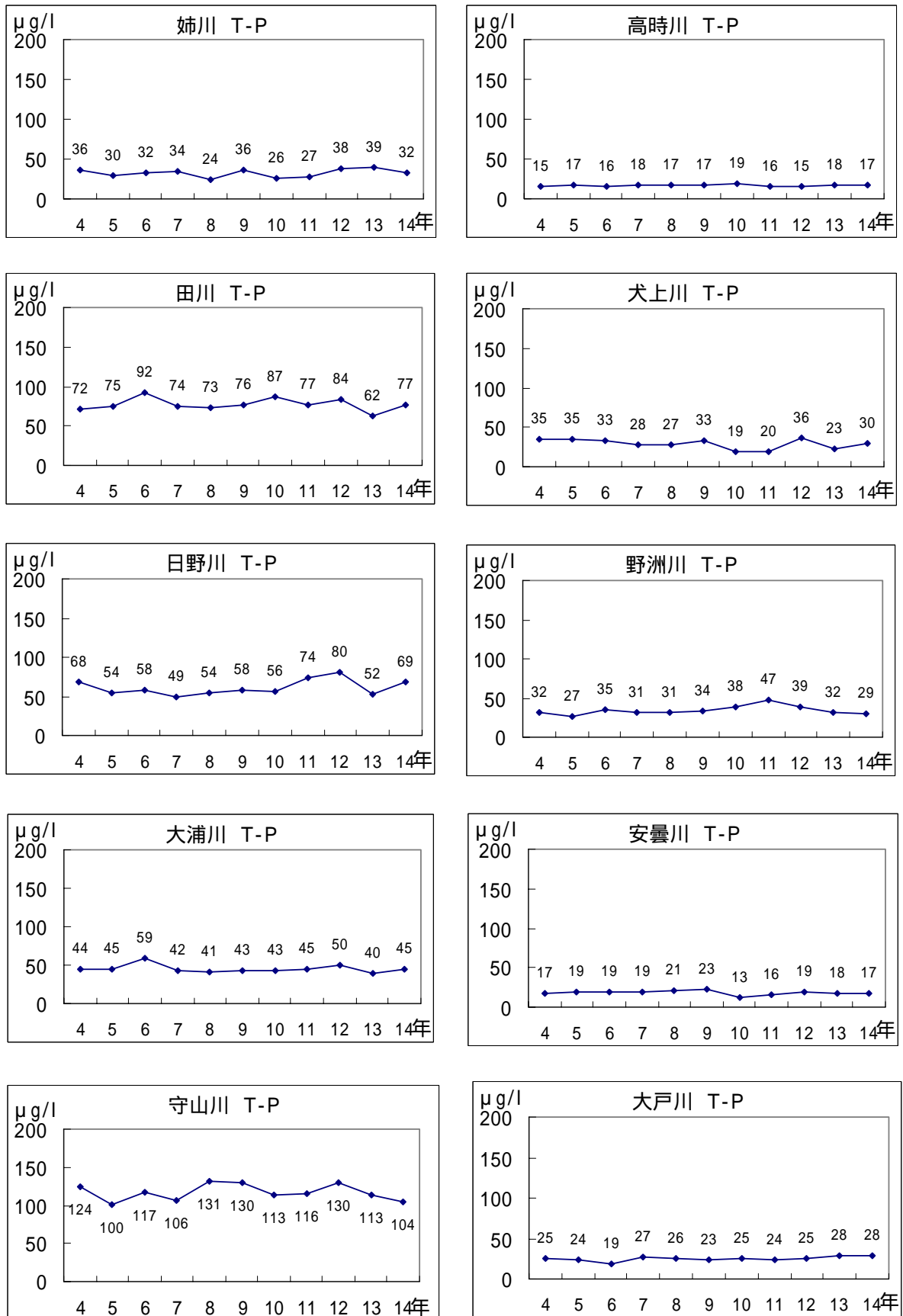


図 1 - 4 姉川・高時川の経年変化と他河川との比較(T-P)



【参考】

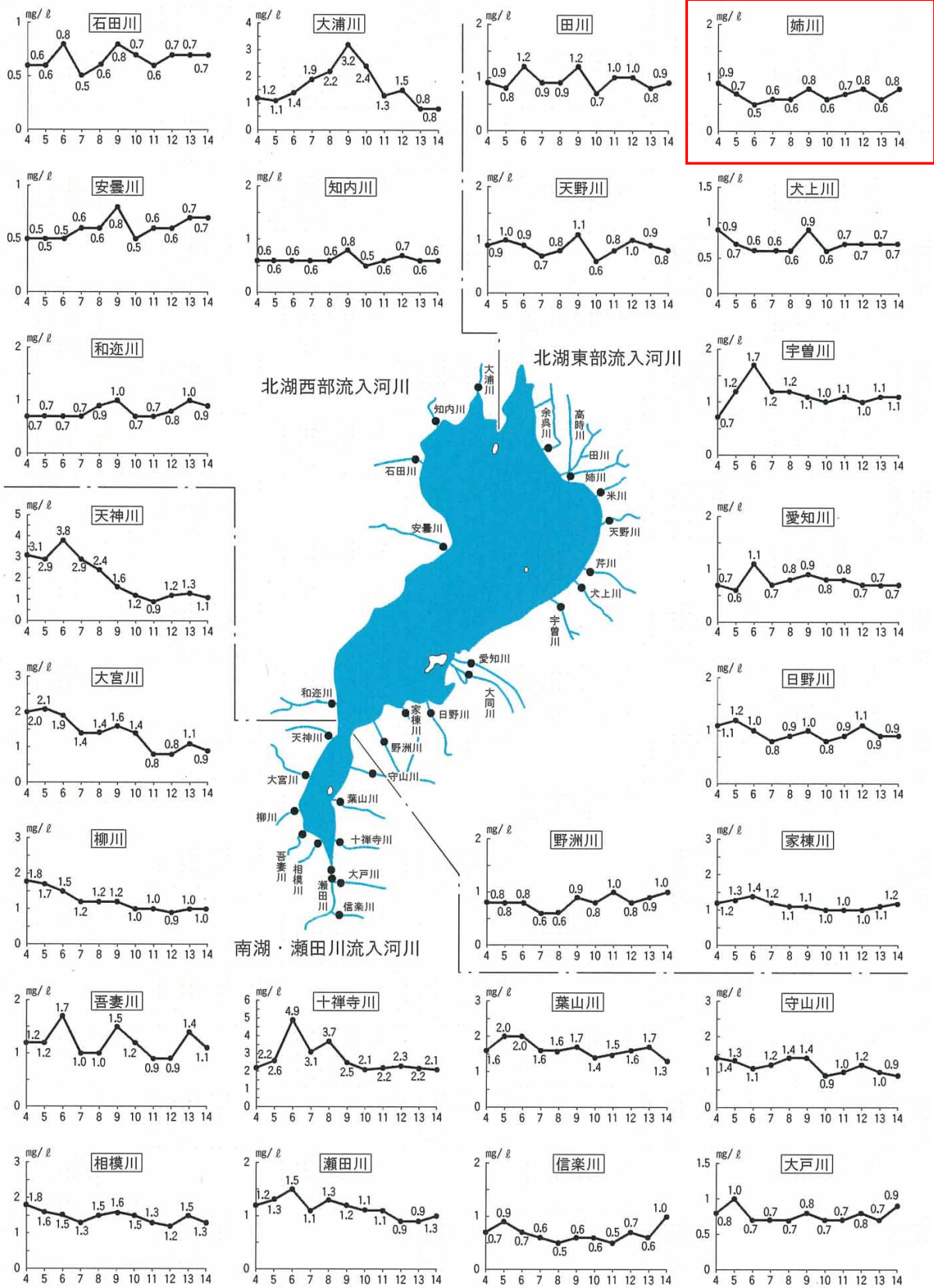


図 1-5 環境基準点におけるBOD濃度の年間平均値の推移

出典:平成 15年(2003年)版環境白書(滋賀県)より

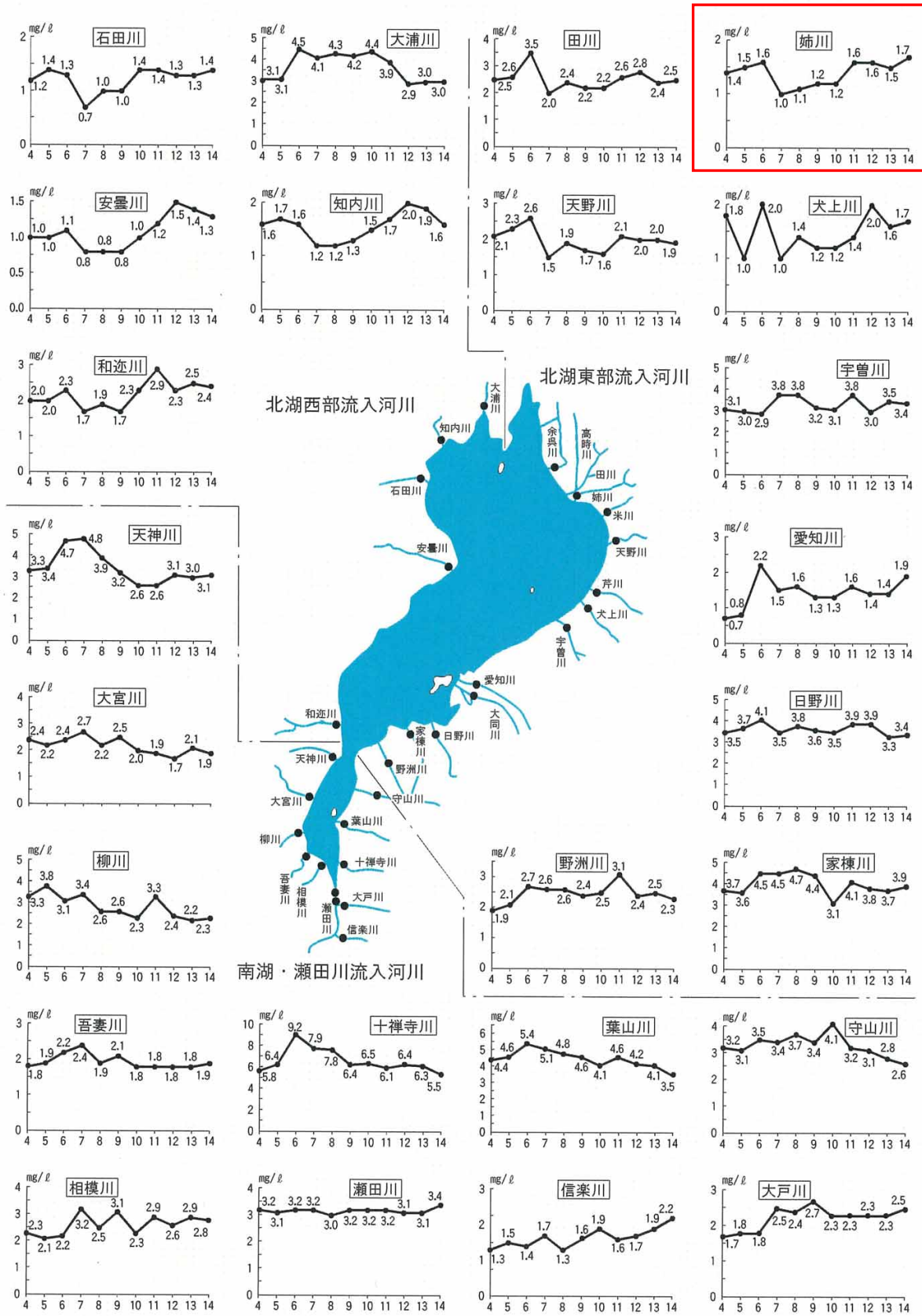


図 1-6 環境基準点における COD濃度の年間平均値の推移  
 出典:平成 15年(2003年)版環境白書(滋賀県)より

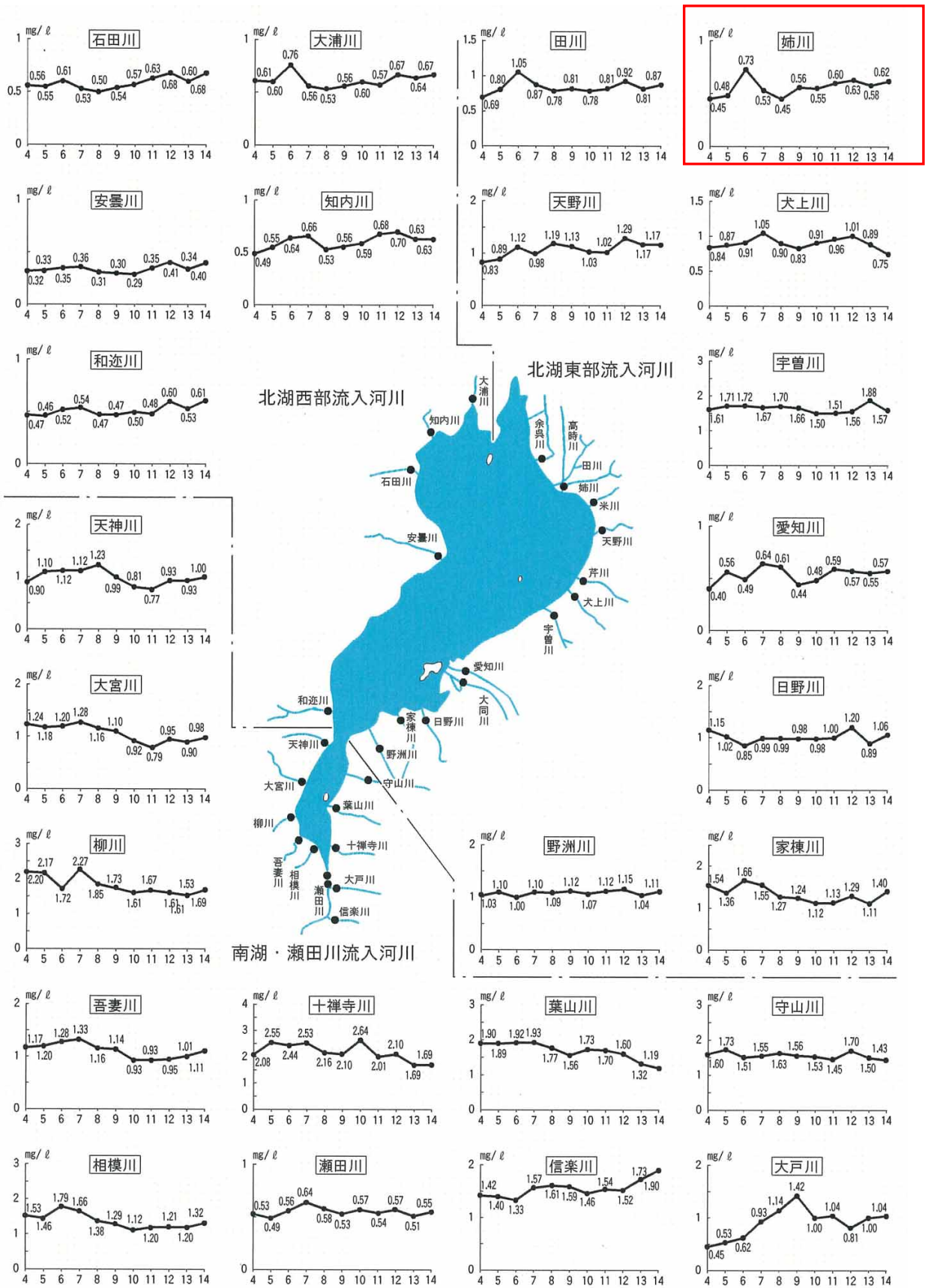


図 1-7 環境基準点における T-N 濃度の年間平均値の推移  
 出典:平成 15 年(2003 年)版環境白書(滋賀県)より



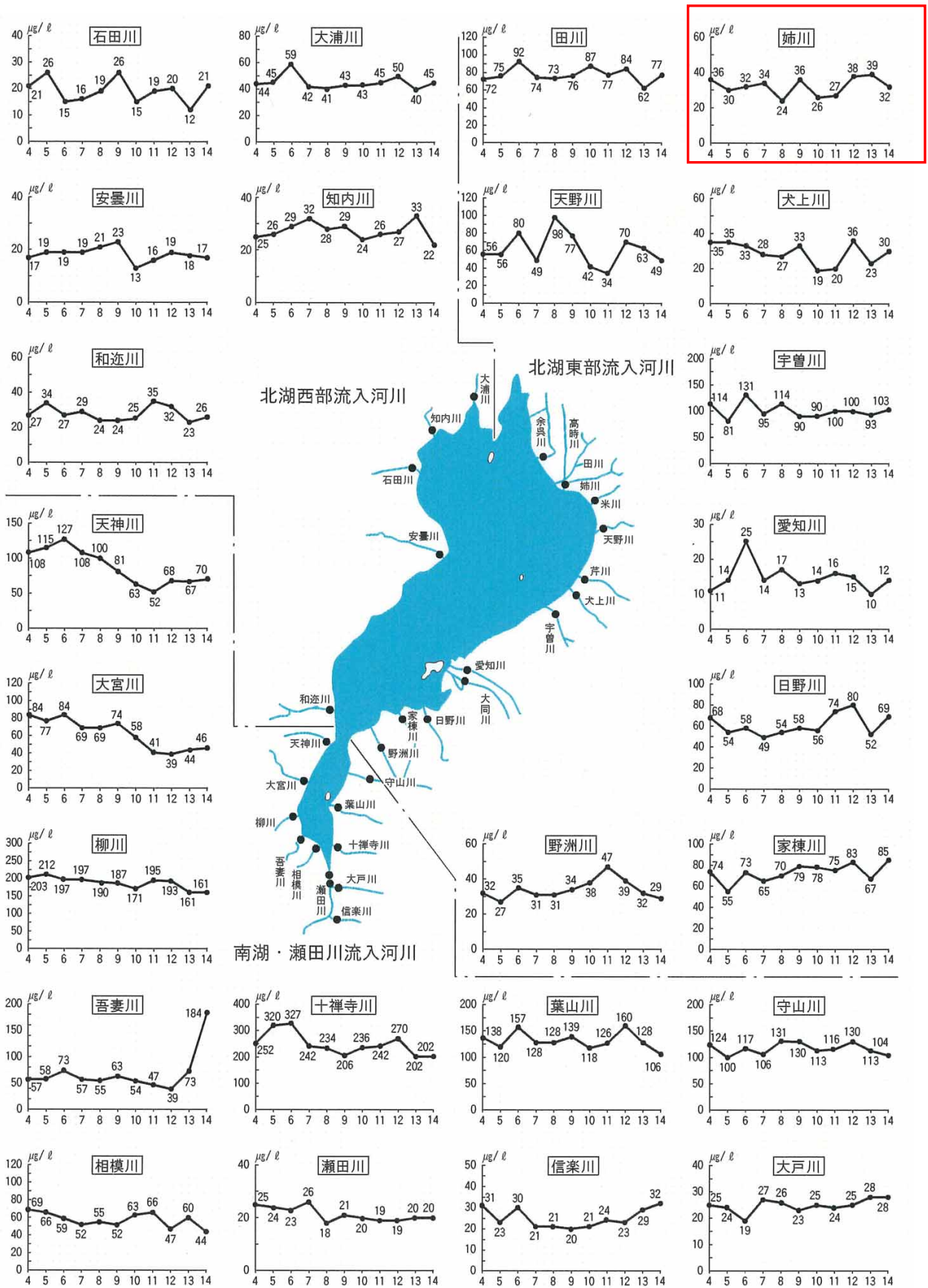


図 1-8 環境基準点における T-P 濃度の年間平均値の推移

出典:平成 15 年(2003 年)版環境白書(滋賀県)より

## 1.2 琵琶湖の水質

### (1) 環境基準

琵琶湖における生活環境に関わる環境基準を以下に示す。

表 1-3 生活環境に関わる環境基準（北湖・南湖）

項目	基準値	指定類型
水素イオン濃度(pH)	6.5 以上 8.5 以下	AA 類型
化学的酸素要求量(COD)	1mg/L 以下	
浮遊物質(SS)	1mg/L 以下	
溶存酸素量(DO)	7.5mg/L 以上	
大腸菌群数	50MPN/100mL 以下	
全窒素(T-N)	0.2mg/L 以下	類型
全リン(T-P)	0.01mg/L 以下	

1. 基準値は、上 5 項目は日間平均値、下 2 項目は年間平均値とする。

2. 農業用水点については、水素イオン濃度 6.0 以上 7.5 以下、溶存酸素量 5mg/L 以上とする。

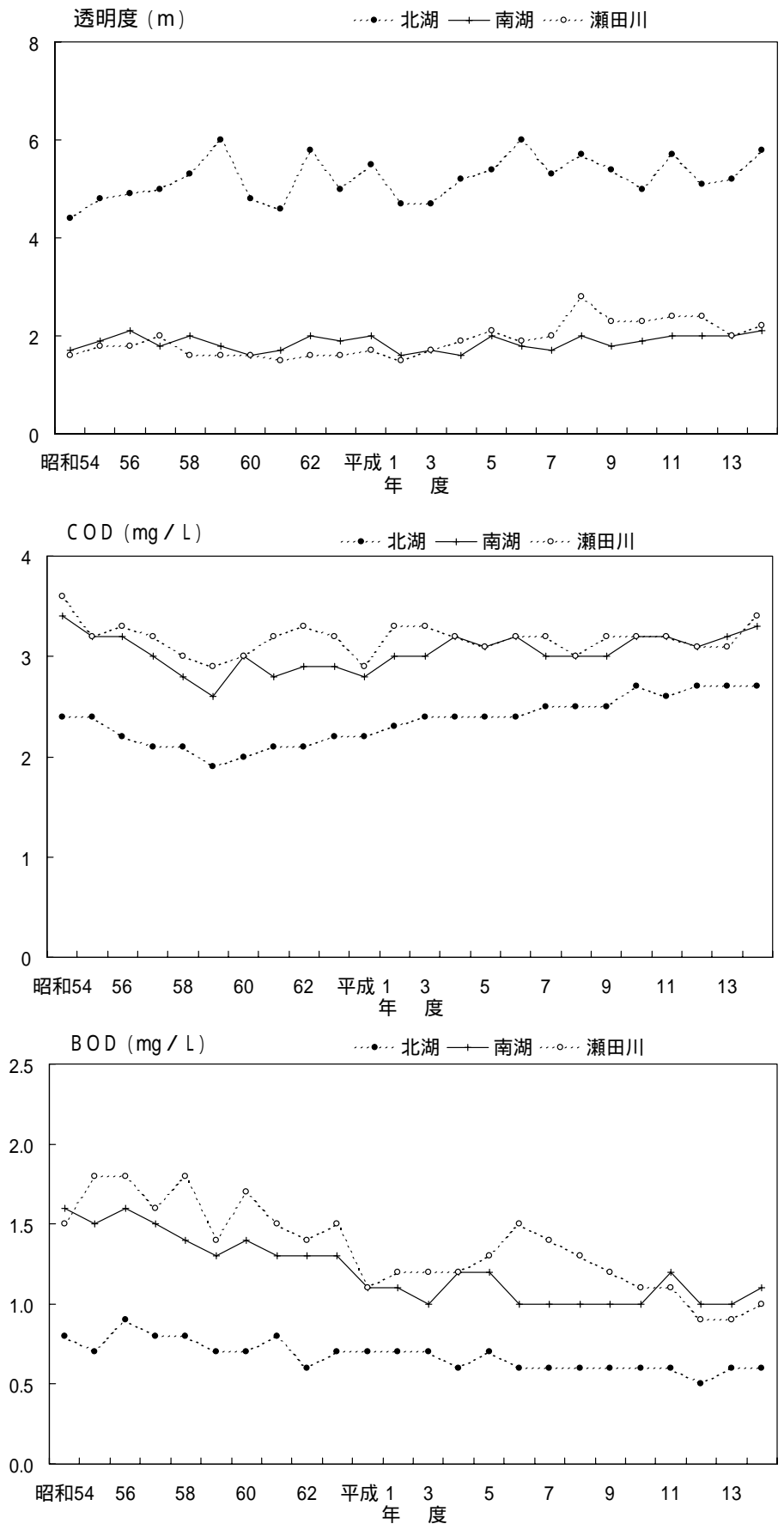
### (2) 経年的な変化

琵琶湖の水質について経年変化を以下に整理する。

- ・透明度：次頁図より、北湖が 4～6m、南湖が 2m 前後で推移している。また北湖については、文献<sup>1)</sup>において、透明度は、1970 年代後半から 80 年代の低下傾向、90 年代の上昇傾向が認められている。

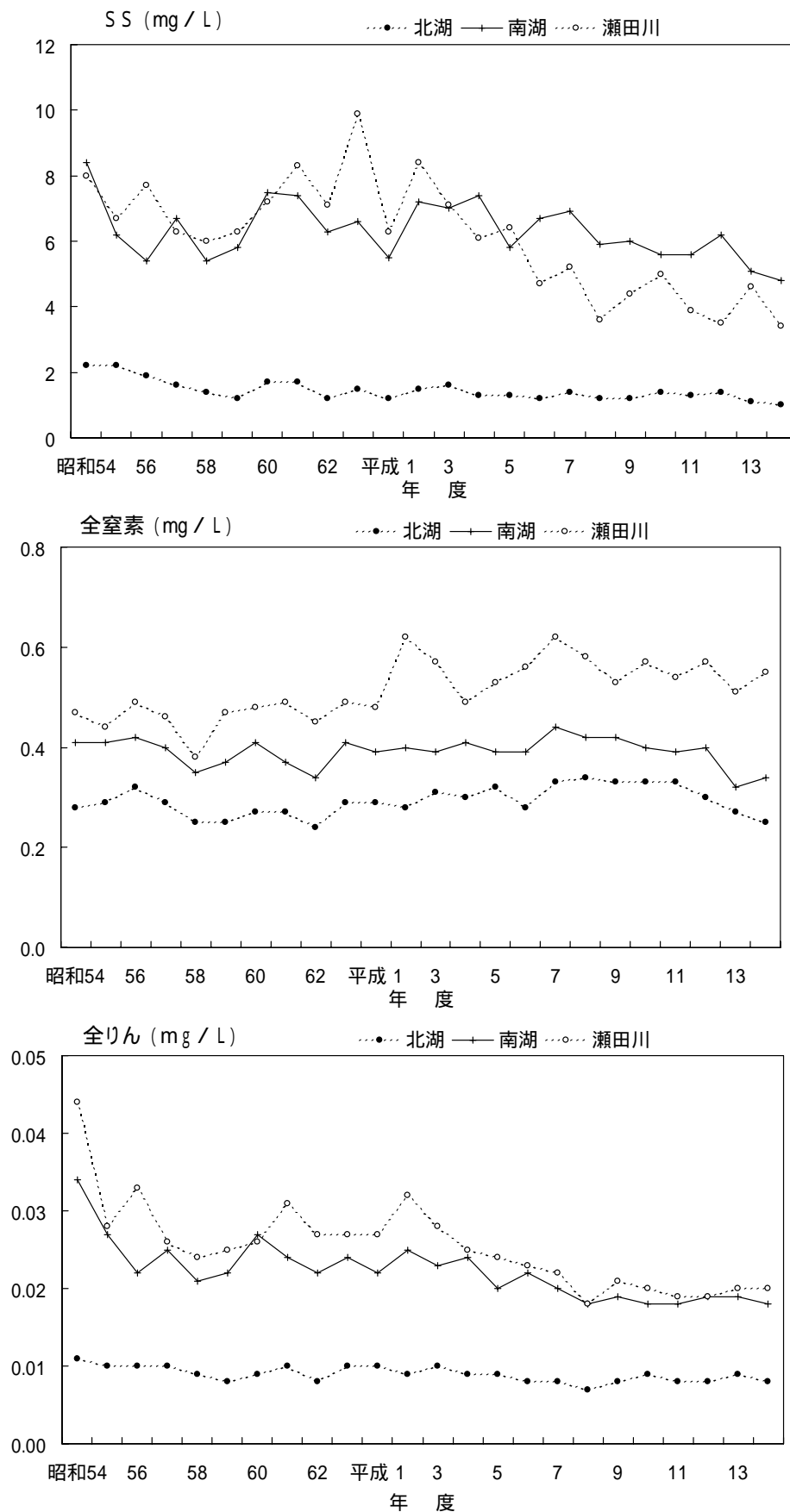
1) 「琵琶湖北湖沖帯透明度の 73 年間の変遷」(陸水学雑誌 64 : 133 - 139,2003)

- ・COD：次頁図より 1980 年初頭頃までは低下傾向にあったが、1980 年代半ばより上昇傾向に転じ、1998 年時点では北湖・南湖とも約 3.0mg/L 前後と、1980 年頃の濃度レベルまで戻っている。湖内に難分解性有機物が増加したことが原因であると言われており、環境基準(1.0mg/L 以下)は達成できていない状況である。
- ・SS：次々頁図より北湖、南湖ともにやや減少傾向が見られる。
- ・全窒素：次々頁図より北湖では、平成 11 年頃から減少傾向が見られる。
- ・全リン：次々頁図より北湖はほぼ横ばい傾向である。南湖でやや減少傾向が見られたが近年は横ばい傾向である。



出典:平成 15 年(2003 年)版環境白書(滋賀県)より

図 1 - 9 琵琶湖水質の経年変化 (透明度、COD、BOD)



出典:平成15年(2003年)版環境白書(滋賀県)より

図1-10 琵琶湖水質の経年変化(SS、全窒素、全りん)

### 1.3 貯水池水質の現状

#### (1) 貯水池水質の比較

貯水池水質及び貯水池下流河川への放流水質の状況、丹生ダム水質との比較を行うため、水資源機構の管理ダムを例にとり、植物プランクトン発生の状況がわかるクロロフィル a(貯水池表層)と、植物プランクトンによる内部生産が考えられる COD(貯水池表層、流入河川)について示す。

表 1-4-1 水資源機構の管理ダムの水質比較

	Chl-a		C O D	
	貯水池表層		貯水池表層	流入
高山	29.02		6.5	3.7
寺内	25.60		4.7	1.9
一庫	19.12		4.2	2.5
布目	14.31		4.0	3.8
青蓮寺	12.17		3.9	1.7
室生	9.59		3.7	4.2
阿木川	9.16		3.3	2.3
下久保	8.13		2.6	2.0
草木	7.98		2.5	2.0
浦山	6.65		2.3	1.6
比奈知	6.20		丹生ダム	2.1
日吉	5.93		1.1	1.1
丹生ダム	5.26		矢木沢	1.9
富郷	3.87		新宮	1.8
岩屋	2.86		下久保	1.7
新宮	2.84		早明浦	1.7
矢木沢	2.68		浦山	1.7
早明浦	2.24		富郷	1.3
味噌川	2.02		池田	1.3
奈良俣	1.84		草木	1.3
池田	1.11		岩屋	1.2
			味噌川	1.0
				0.8

貯水池平均水質 (1998 ~ 2002 年)

注) 上表中の数値は、丹生ダムの貯水池表層は水質予測値で、それ以外は実測値である。

上表より、丹生ダムは、他ダムと比較すると Chl-a、COD とともにほぼ中央にランクされるような水質であることがわかる。



## (2) 濁質の粒度分布の比較

丹生ダムにおける濁質流出特性について、流量に対するSSが高く、微細な粒子の割合が高いため、濁水の長期化が確認されている浦山ダムや、その反対の特性を有し、濁水問題が確認されていない日吉ダム、比奈知ダムとの比較を行った。

表 1-4-2 各ダムの諸元

	丹生ダム	浦山ダム	日吉ダム	比奈知ダム
総貯水容量 (千m <sup>3</sup> )	150,000	58,000	66,000	20,800
流域面積 (km <sup>2</sup> )	93.1	51.6	290	75.5
年間流入量 (千m <sup>3</sup> /年)	258,404	75,000	295,000	75,000
回転率 (回/年)	1.7	1.3	4.5	3.6

次頁に各ダムにおける流量とSSの関係、SSと粒度分布の関係を図示する。

- ・ 次頁の図 1-11-1 から、流量に対するSS濃度については、丹生ダムは日吉ダムや比奈知ダムに比べて若干高く、浦山ダムに近いといえる。
- ・ 次頁の図 1-11-2 から、濁りに強い影響を与える微細な粒子(特に3μm以下)が粒度分布中に占める割合は浦山ダムが特に高く、丹生ダムは日吉ダム、比奈知ダムに近いことがわかる。

貯水池内での濁質の沈降速度を考えると、濁水問題発生の一つの大きな要因として貯水池へ流入するSSの粒度分布が大きく影響すると考えられる。

丹生ダムは、流入するSS濃度がやや高いものの、SS粒度分布については濁水問題が発生していない日吉ダムや比奈知ダムほぼ同程度で、平均的な粒度分布であるといえる。

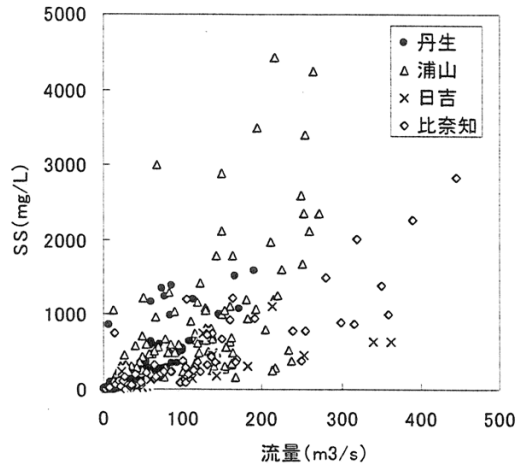


図 1-11-1 流量と SS の関係

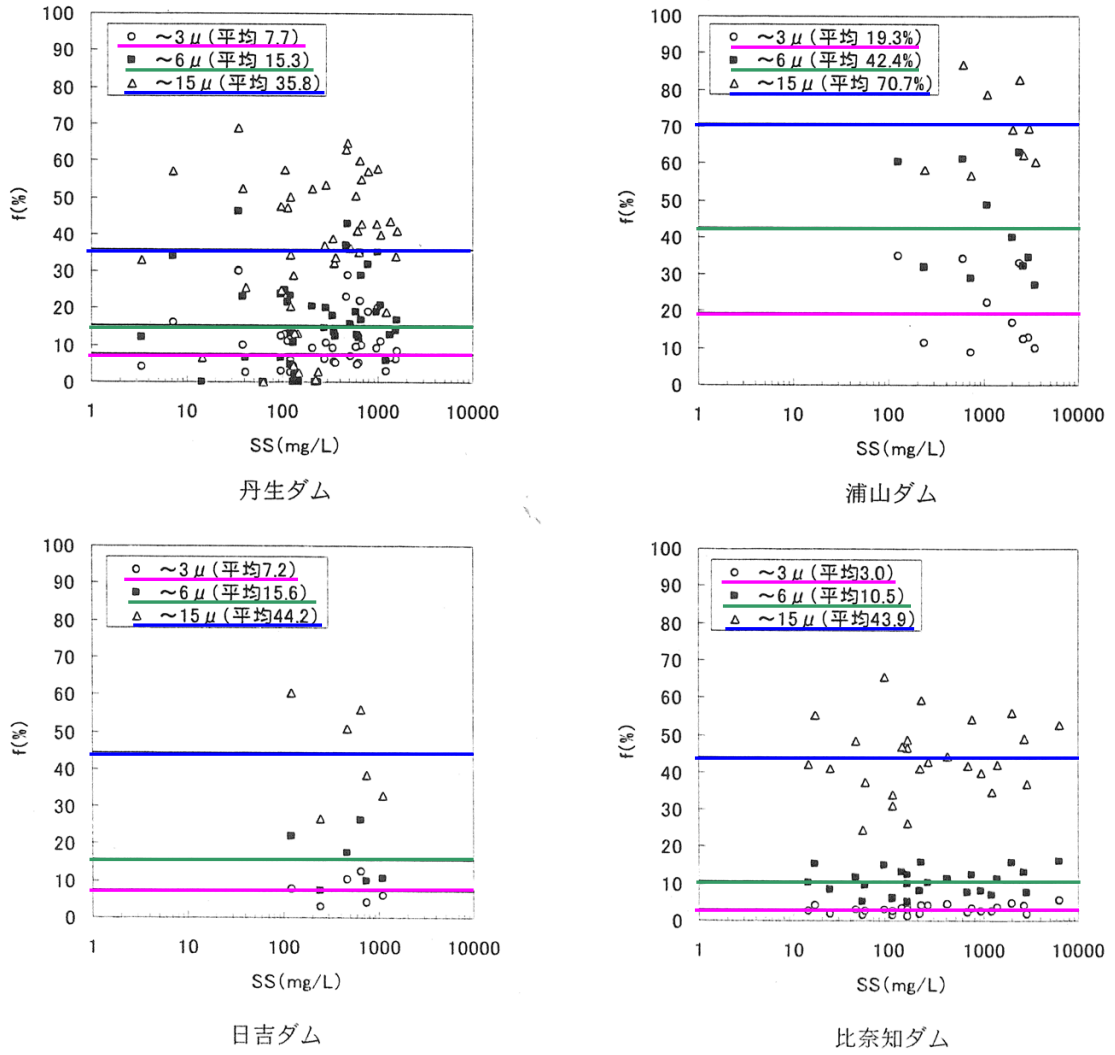


図 1-11-2 SS と粒度分布の関係

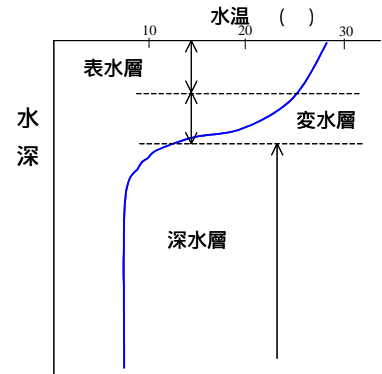
## §2. 貯水池及び高時川の水質予測

### 2.1 貯水池水質予測

#### (1) 貯水池の水質に関する一般的な問題

一般に貯水池における水質に関する問題として、大きくは以下の3つの問題が挙げられる。

**冷水現象** : 春から夏にかけての受熱期は、日射により表水層が温められて水の密度の大きい水と混合しなくなる。その結果、低温の水の上に高温の水が積み重なり、「水温成層」が形成される。また、表水層と深水層との間に大きな水温変化ができ、これを変水層(水温躍層)という。



**冷水問題** : 稲作への影響、生態系への影響、水産資源への影響

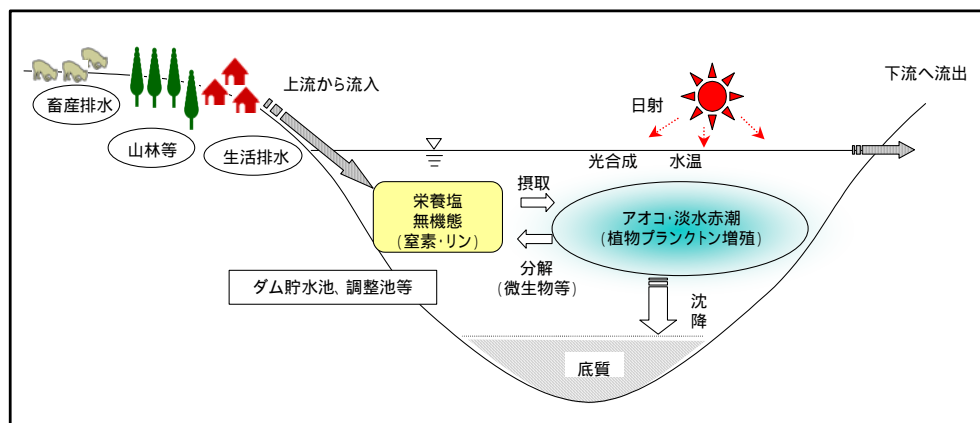
**濁水現象** : ダム貯水池がある場合には、貯水池の水による希釈や濁質の沈降により、放流濁度のピークは低くなるが、洪水の濁水と貯留水が混ざるため、濁水の量が増加する。このため、濁水の長期化が発生することがある。

**濁水問題** : 水産資源への影響、生態系への影響、景観の悪化、レクリエーション阻害、上水道における被害

**富栄養化現象** : 自然湖沼での富栄養化は、数百年から数万年の長い時間をかけて、湖が湿地から陸地へと変化する現象を指す。ダム貯水池での富栄養化は、流入水の窒素、リンなど、水中の栄養塩濃度が高まることで、植物プランクトンが異常発生することを指す。

**富栄養化現象** : 上水道における被害、生態系への影響、景観の悪化、

#### レクリエーション阻害



(2) 丹生ダムにおける水質予測の着目点

丹生ダムでは琵琶湖水位低下抑制の一つとして、貯水池から夏季にまとまった量の水を放流(以下、環境放流と称す)し、琵琶湖に補給することが有効と考えている。この補給水の水質、特に水温についてシミュレーションにより検討した。

また、ダム貯水池及び放流水について一般に想定される水質問題である濁水放流の長期化と貯水池内の富栄養化についても検討を行った。

【環境放流の目的】

夏季、琵琶湖の水位が低下した時に、ダムから補給することにより琵琶湖の急速な水位低下の抑制を図る。

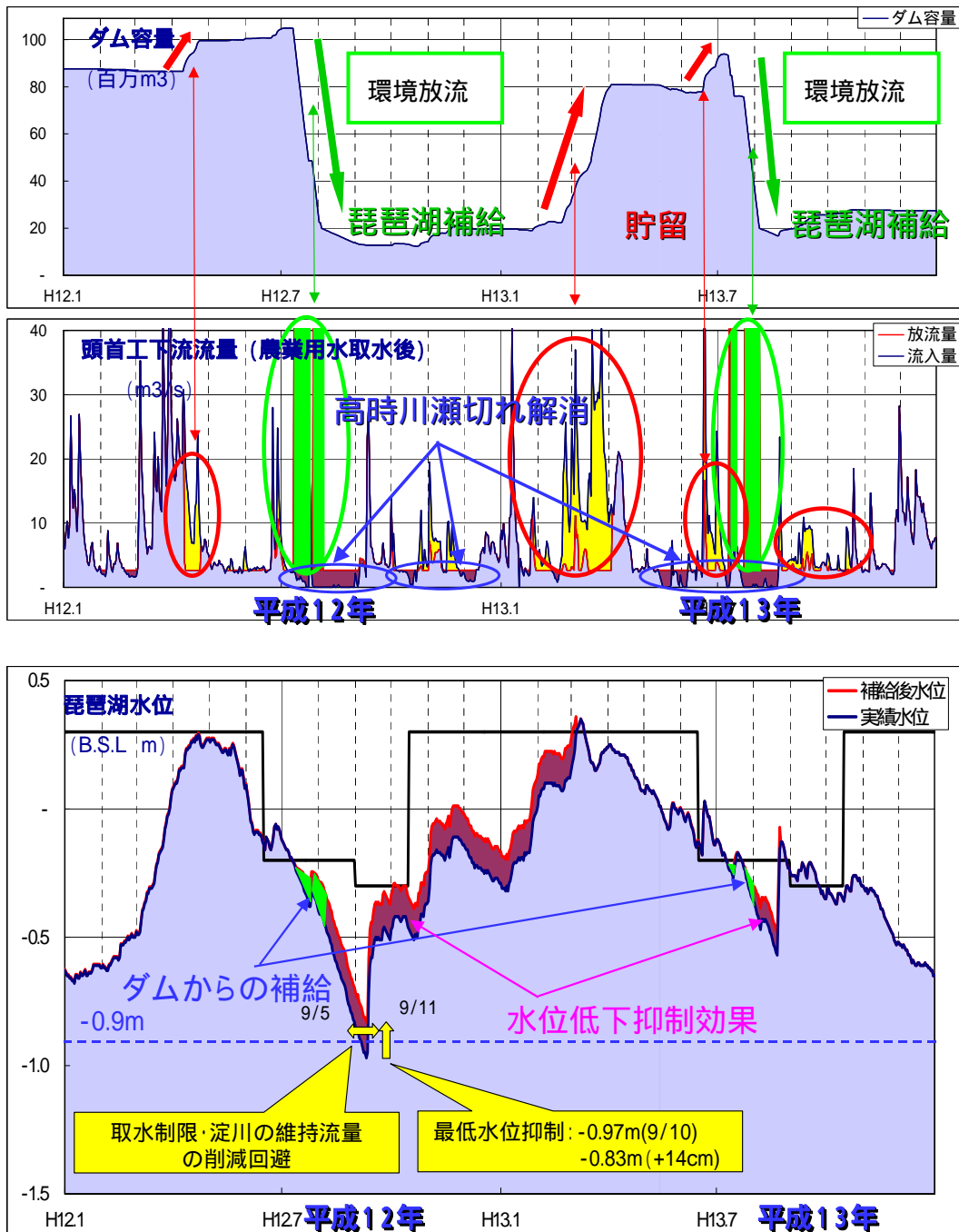


図 2-1 丹生ダム貯水池運用のイメージ

### (3) 水質予測モデル

成層型貯水池の水温分布は年間を通じて水平方向にほぼ一様であり、鉛直方向にのみ変化する。濁質・水質の濃度分布も水平方向にほぼ一様と考えられるため、**鉛直一次元モデル**を考える。

丹生ダムの水質予測モデルは、建設省土木研究所環境計画研究室(当時)が開発した「一次元富栄養化モデル」に水資源開発公団試験研究所が一部改良を加えたモデルを適用した。

このモデルは、水温、濁度、植物プランクトン(クロロフィルa)、動物プランクトン(炭素濃度)、DO、COD、無機態リン、有機態リン、無機態窒素、有機態窒素の10項目で構成されており、このうち有機態リンおよび有機態窒素は植物プランクトン・動物プランクトンを含んだものとして取り扱っている。

以下にモデルの概念図、次頁に貯水池内水質変化機構の概念図を示す。

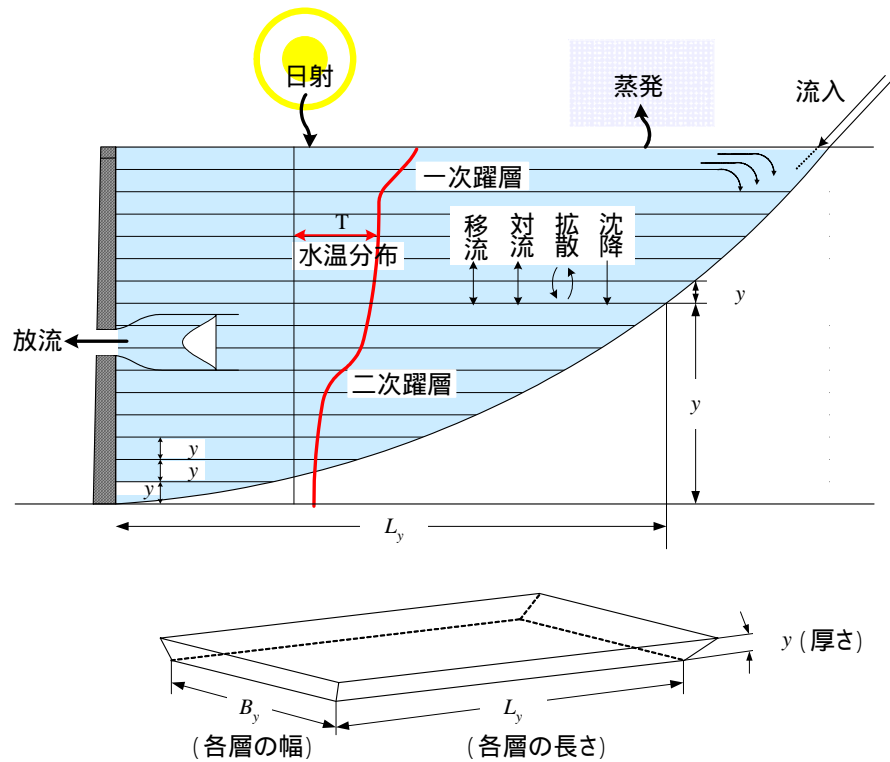


図 2-2 鉛直一次元モデルの概念図

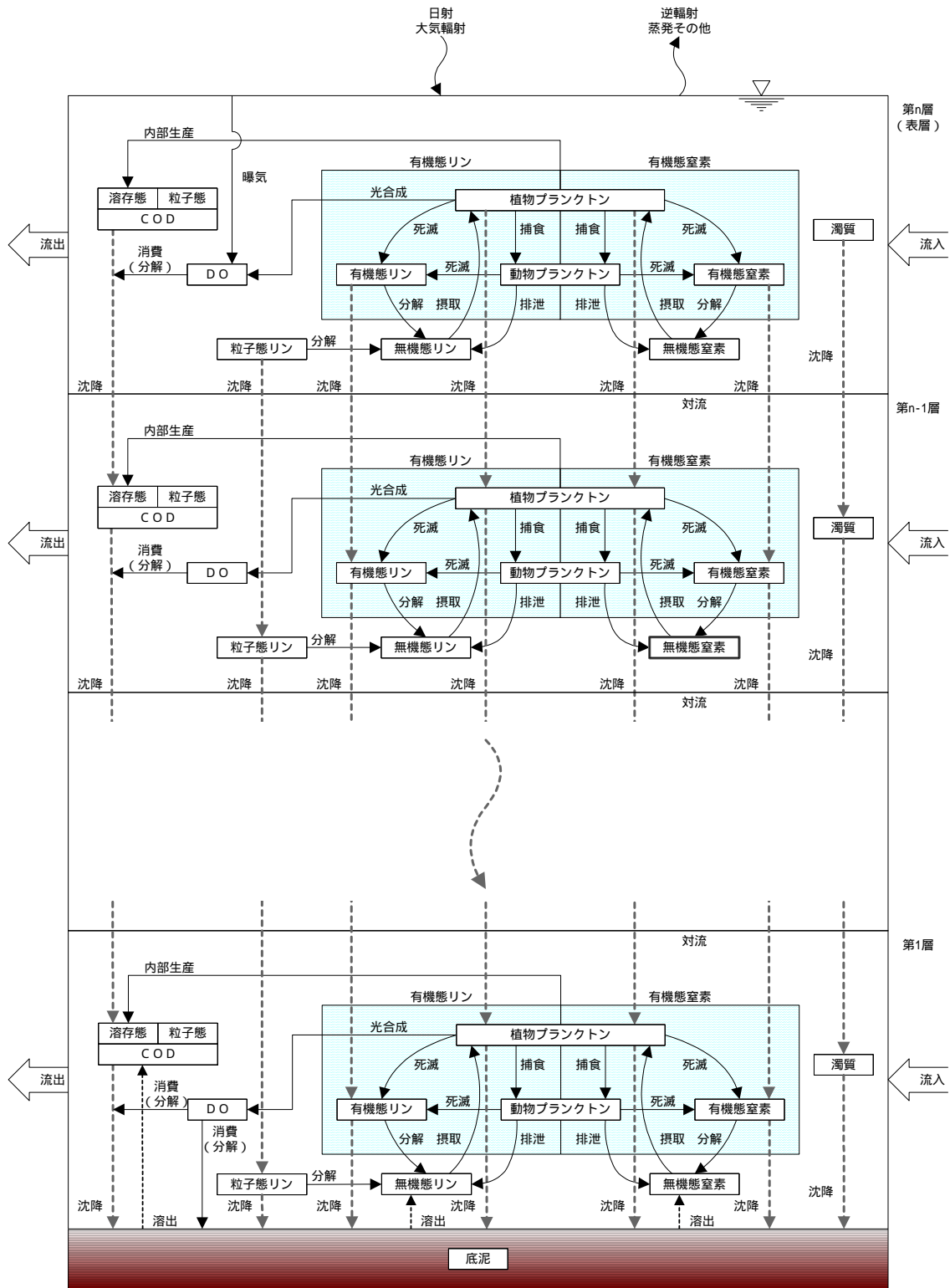
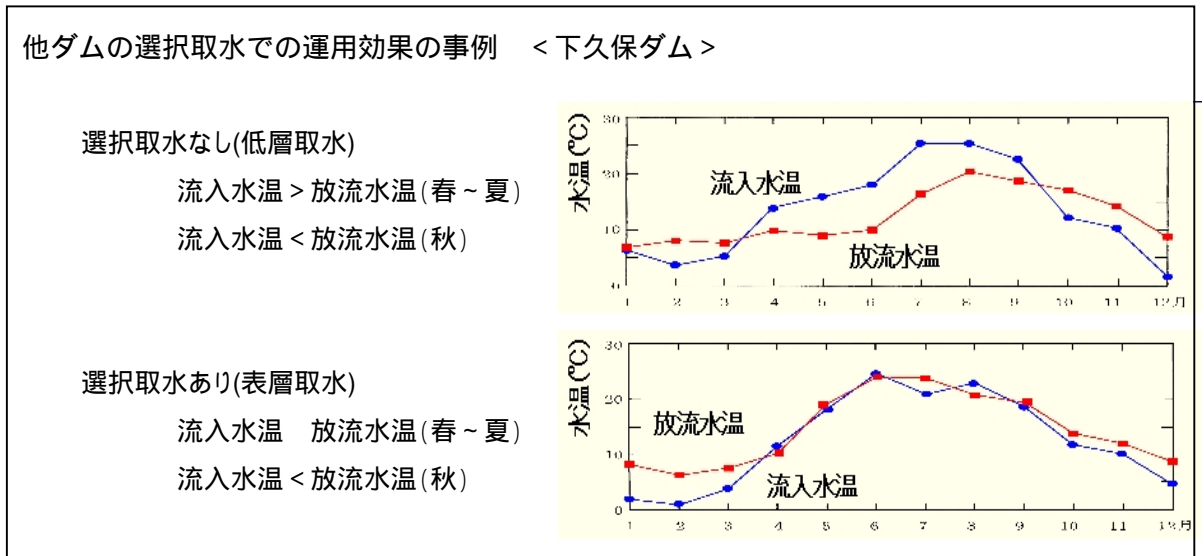


図 2-3 貯水池内水質変化機構概念図

(4) 水質保全対策

貯水池規模が比較的大きく、成層期には水温躍層が強く形成されると考えられる貯水池では、下流河川への冷水放流の問題に対しては、一般的には選択取水設備を用いて表層取水することによって対応している事例が多い。



【選択取水設備】

流入水温と同等の水温層から放流することができる。

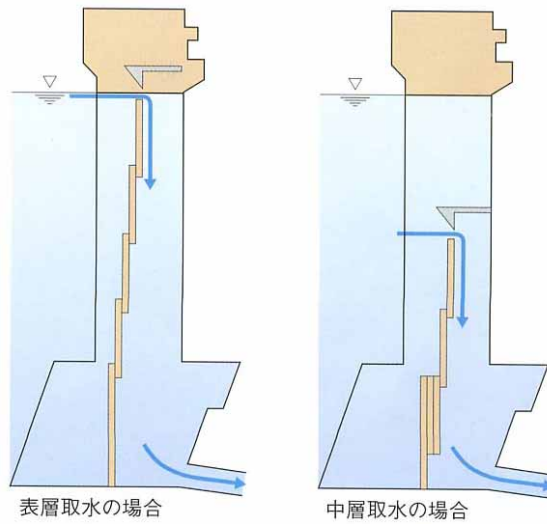


図 2-4 選択取水設備概念図

丹生ダムの場合、強い水温躍層の形成に加え、夏季に大量の貯留水の放流を想定しているため、水温分布の変化が大きいことが考えられ、貯水池の水質問題の中でも特に冷水放流が問題となることが考えられる。

下図は、丹生ダムにおいて選択取水による表層取水を行った場合の放流水温の変化を示したものである。環境放流前の2000年7月7日の水温鉛直分布では、20以上の水の容量は1,100万m<sup>3</sup>である。これに対し、必要とした環境放流量は5,660万m<sup>3</sup>である。(7月24日時点)従って、4,560万m<sup>3</sup>は20よりも低い温度の水を放流してしまうこととなる。

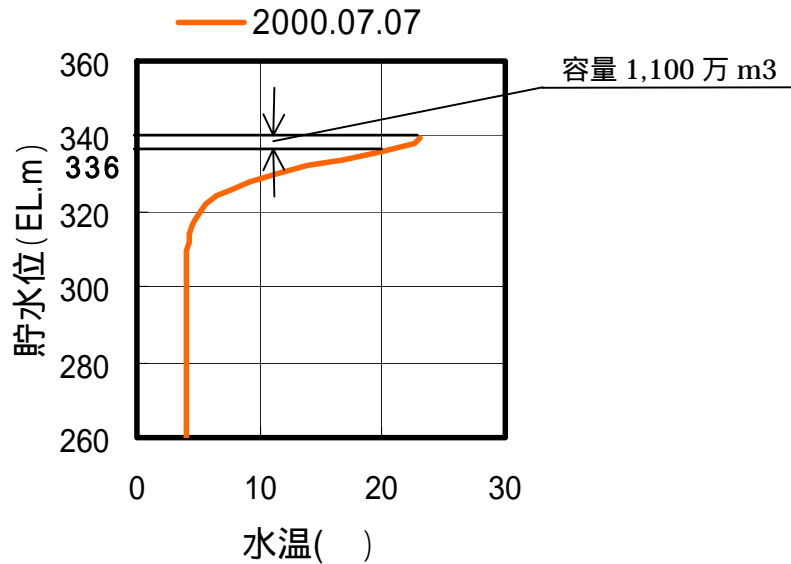


図 2-5 貯水池内の鉛直分布 (2000年7月7日)

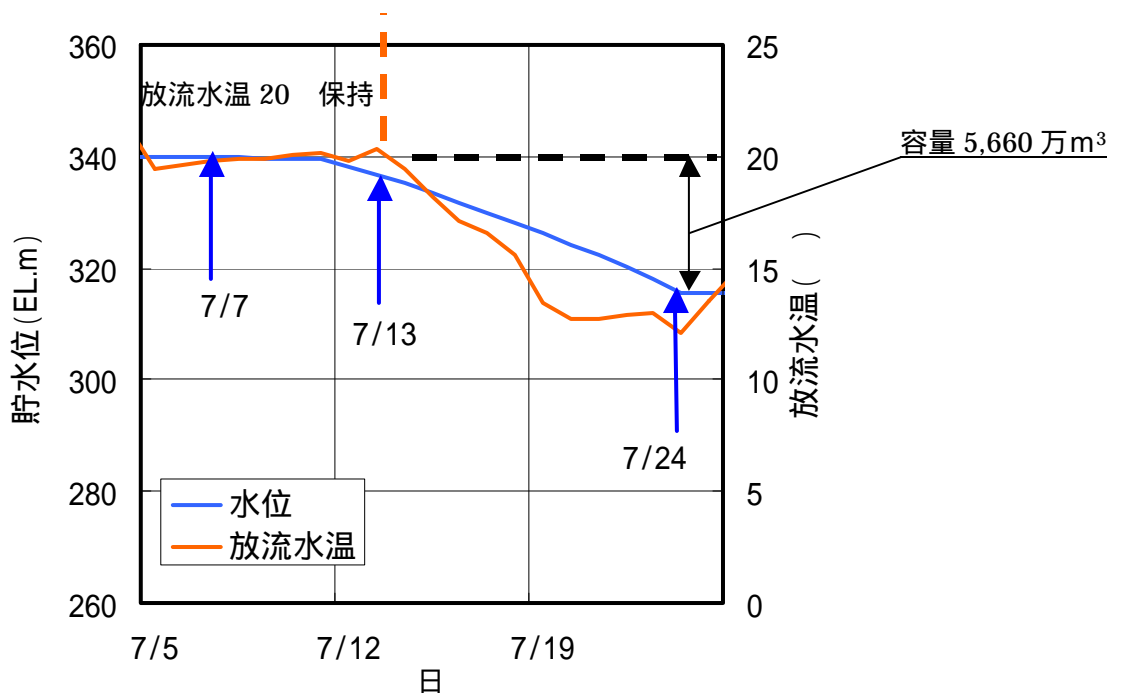


図 2-6 放流時の水位と水温変化(2000年7月)  
一般的な表層放流を行った場合



以上のことから、丹生ダムでは、

表層の温水の量には限界がある

表層放流を長期間大量に行うと、放流水温が流入水温よりかなり低くなる可能性がある。

冷水問題の解決には、流入水温 放流水温となる運用が求められるが、丹生ダムでは、上記の特徴を踏まえて、水温に主眼をおいた水質保全対策として、選択取水設備に加えて、曝気装置について検討を行った。

#### 【曝気装置】

曝気によって貯水池内の水を循環させることによって、温水の量を確保することができる。

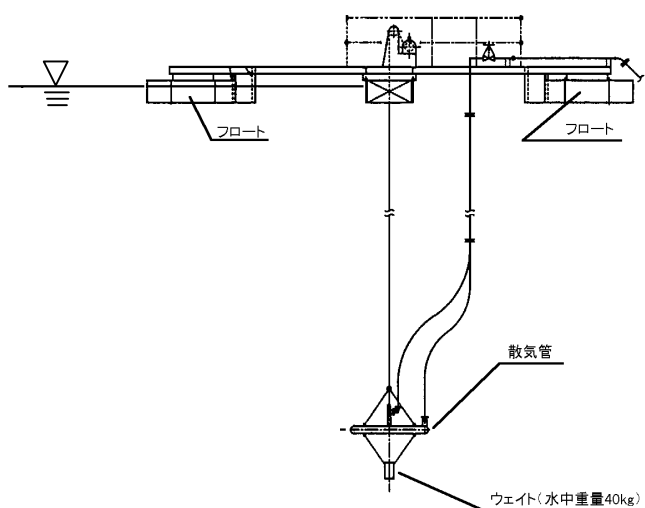


図 2-7 曝気装置概要図 及び 曝気装置運転の様子

(5) 選択取水設備と曝気装置の運用方法

選択取水設備と曝気装置の今回試算した運用方法について以下に示す。

運用方法の概要は、

- ・ 曝気水深は貯水位と月によって位置を変えている。
- ・ 環境放流時は選択取水は表層取水としている。
- ・ 環境放流によって貯水位が低下した場合（7,8月：水位 300m 未満）、曝気を停止している。

選択取水設備と曝気設備の関係を下表、貯水位と曝気水深（2000年の例）を下图に示す。

表 2-1 選択取水設備と曝気設備の運用方法

	取水設備の運用	曝気設備の運用（曝気的水深）
曝気運用	1～3月：表層取水 4～12月：選択取水 （放流水温は流入水温相当） 環境放流時のみ表層取水 可動範囲：～EL.270.8m	4月：表層 5mの位置で曝気 5月 1日～15日水位EL.315m以上：表層から - 15mの位置で曝気 水位EL.315m未満：表層から - 10mの位置で曝気 5月16日～31日水位EL.315m以上：表層から - 20mの位置で曝気 水位EL.315m未満：表層から - 10mの位置で曝気 6月全日 水位EL.315m以上：表層から - 70mの位置で曝気 水位EL.315m未満：表層から - 10mの位置で曝気 7月全日 水位EL.300m以上：表層から - 55mの位置で曝気 水位EL.300m未満：曝気停止 8月全日 水位EL.300m以上：表層から - 40mの位置で曝気 水位EL.300m未満：曝気停止 いずれの場合も曝気最低水深 EL.260.8m

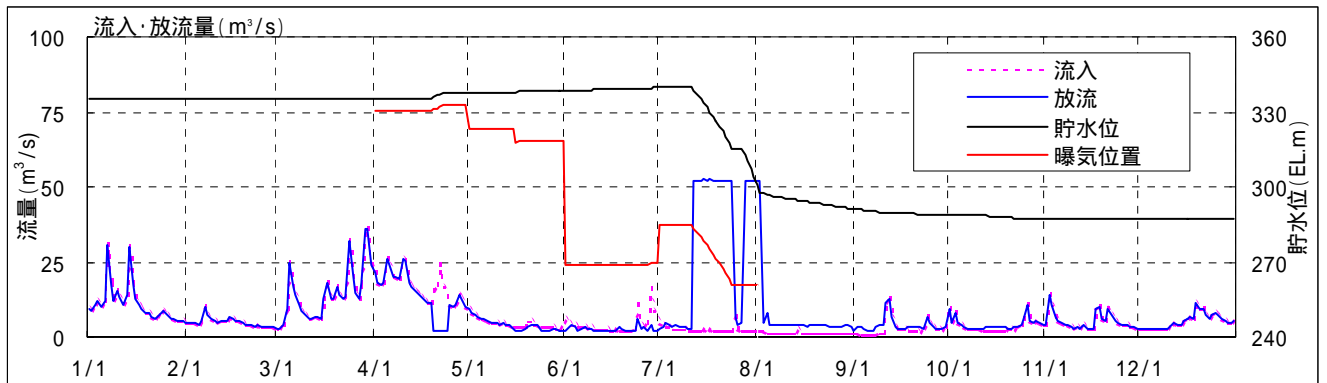


図 2-8 貯水位と曝気水深（2000年）

(6) 水質予測結果

1) 冷水現象に関する予測

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間とし、このうち夏季の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年として以下に示す。

曝気循環による対策を行わない場合は7月後半の補給水の水温が低下し、流入水温を下回るが、曝気循環による対策を行うと、温水が確保でき、放流水温が流入水温を下回らないことが明らかになった。

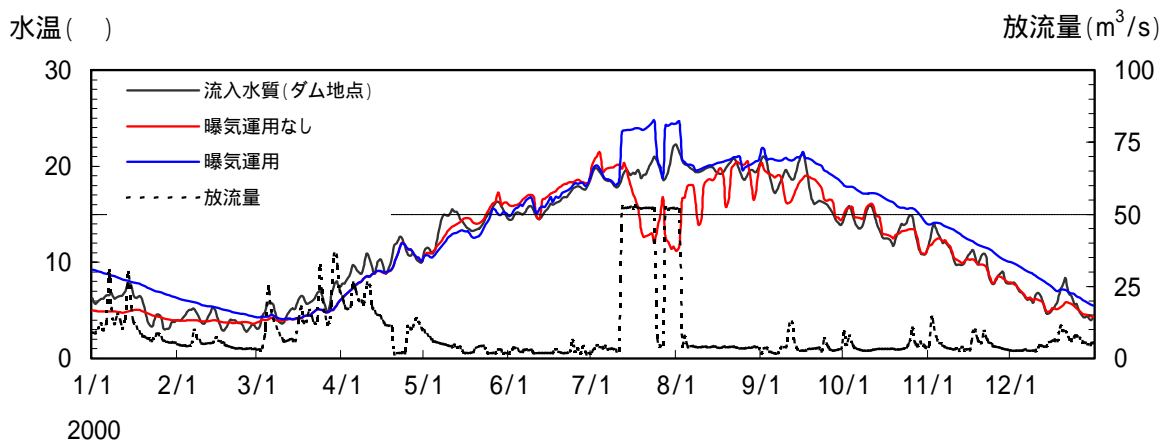


図 2-9 水温の予測結果 (2000 年)

下図に示すように、曝気によって、適切な温水層を形成することができるため、温水の放流が可能となる。

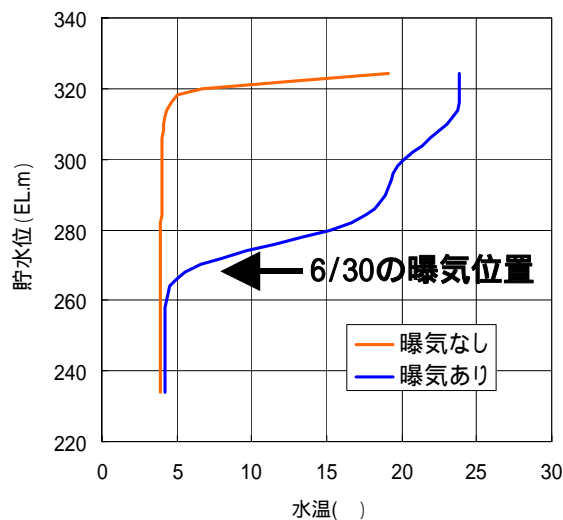
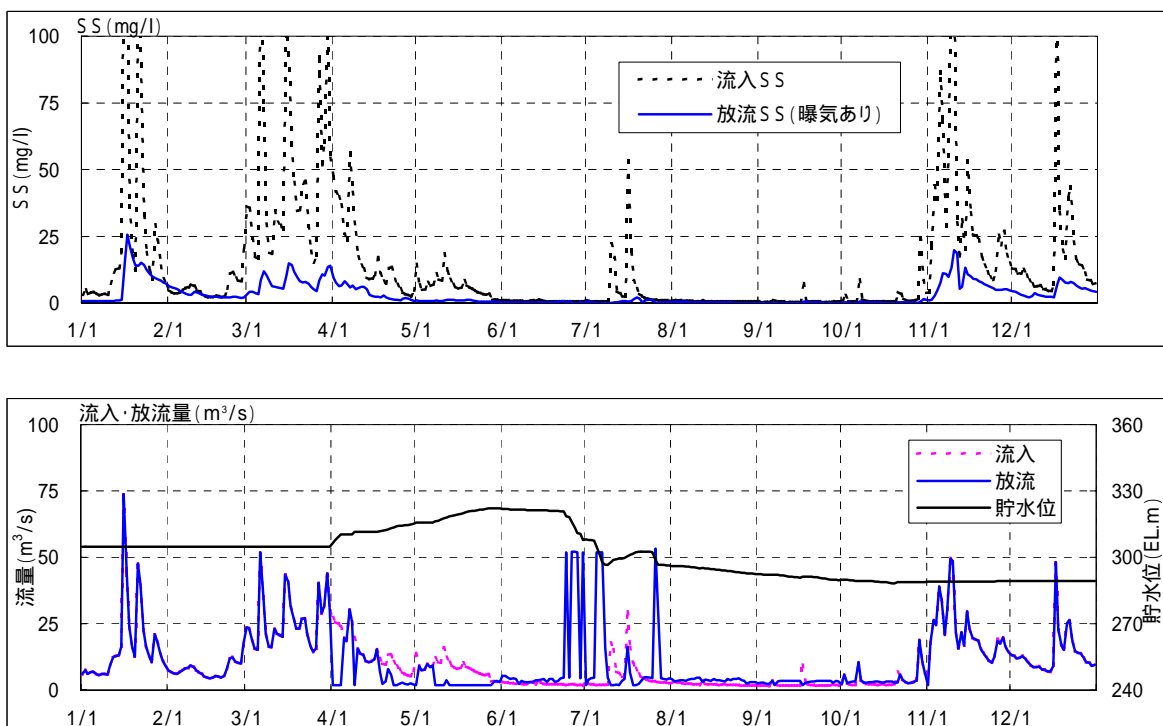


図 2-10 曝気による効果を示す水温鉛直分布図(2000 年 7 月 20 日)

## 2)濁水現象に関する予測

予測対象期間は琵琶湖運用後の1992年～2002年の11年間とし、このうち流入SSのピーク流入濃度が最も高い2002年を代表年として示す。



2002

図 2-11 SS の予測結果 (2002 年)

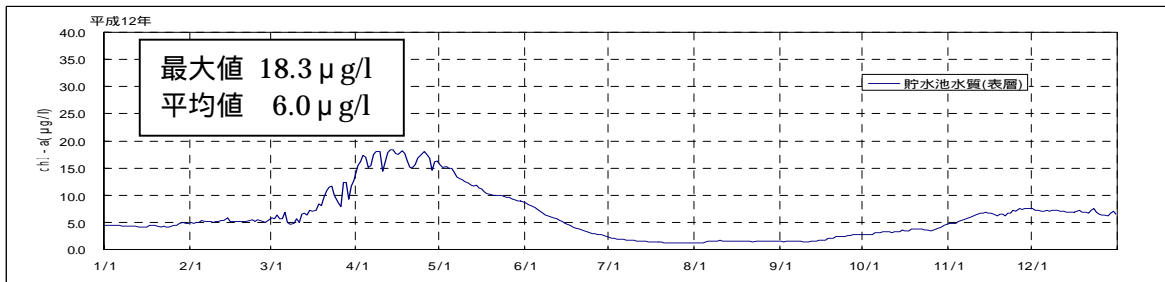
この期間では流入SS濃度よりも放流SS濃度が2～3mg/l上回る日数は1日であり、1～2mg/l以上上回る日数は5日であった。

また、高時川では環境基準の類型指定はされていないが、参考までに姉川と同じ環境基準(河川AA類型)の値25mg/lと比較すると、この11年間で、流入SSは年間数日～数十日この値を上回るのに対し、放流SSはほとんど上回ることはない。

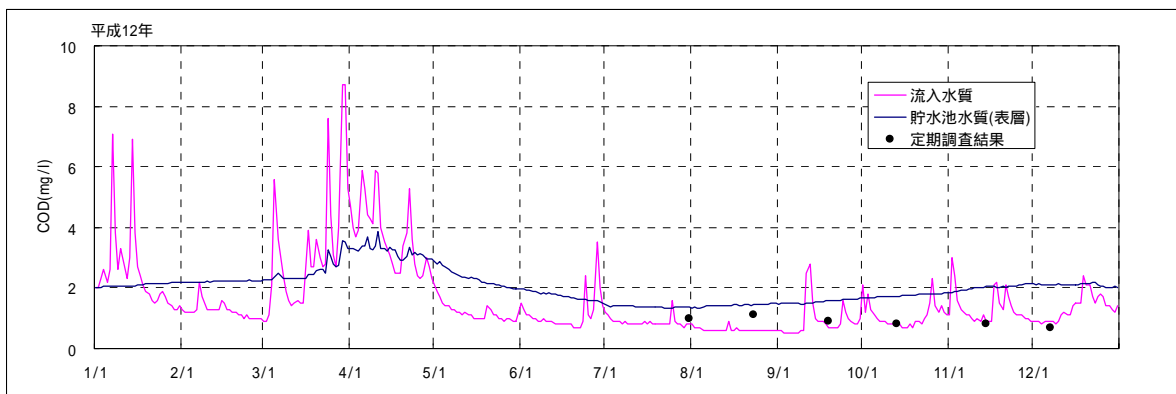
### 3) 富栄養化現象に関する予測

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間とし、このうち夏季の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年として以下に示す。

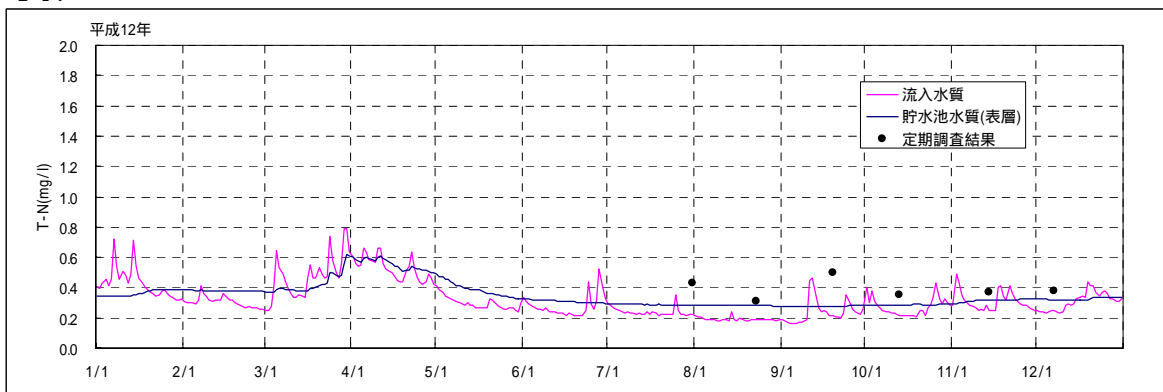
#### Chl - a



#### COD



#### T-N



#### T-P

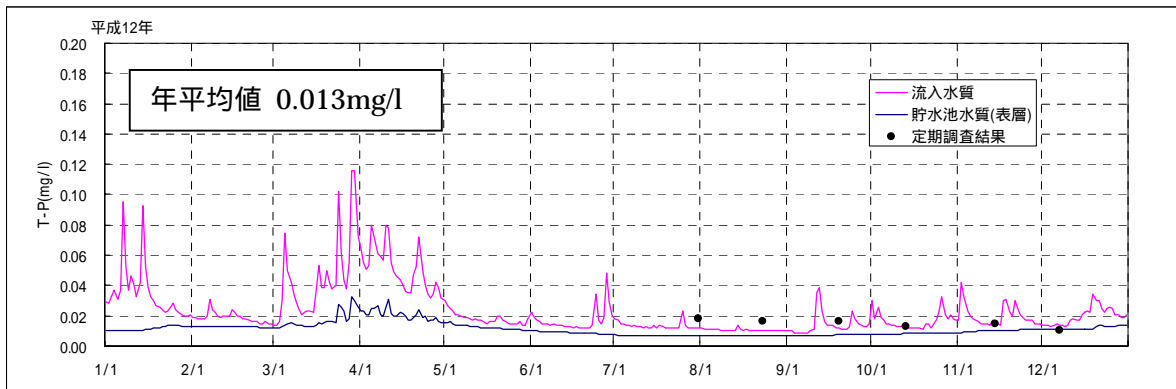


図 2-12 Chl-a ,COD,T-N,T-P の予測結果 (2000 年)

Chl-a (クロロフィル a)は年最大値 18.3 µg/l、年平均値 6.0 µg/l、並びに T-P は年平均値 0.013mg/l であることから、栄養度区分の指標値(OECD 資料：下記【参考】を参照)より中栄養に相当する。

【参考】

1) 栄養度区分の指標値

栄養度の区分	T-P の年間平均値 (mg/l)	CHL-a の年間平均値 (µg/l)	CHL-a の最大値 (µg/l)
極貧栄養	< 0.004	< 1.0	< 2.5
貧栄養	< 0.01	< 2.5	< 8
中栄養	0.01 ~ 0.035	2.5 ~ 8	8 ~ 25
富栄養	0.035 ~ 0.1	8 ~ 25	25 ~ 75
過栄養	> 0.1	> 25	> 75

資料：[OECD Cooperative Programme On Monitoring Of Inland Waters]  
( Vollenweider, R. A. &J. Kerekes, Synthesis Report (1980)) を基に作成

2) 生活環境の保全に関する環境基準 (河川)

	利用目的の適用性	水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸素 要求量(BOD)	浮遊物質 量(SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全およびA以下の 欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/l以下	25mg/l以下	7.5mg/l以上	50MPN/100ml 以下
A	水道2級・水産1級 水浴 およびB以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	2mg/l以下	25mg/l以下	7.5mg/l以上	1000MPN/100ml 以下
B	水道3級 水産2級 およびC以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/l以下	25mg/l以下	5mg/l以上	5000MPN/100ml 以下
C	水産3級 工業用水1級 およびD以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	5mg/l以下	50mg/l以下	5mg/l以上	-
D	工業用水2級 農業用水 およびE以下の欄に掲げるもの	6.0以上 8.5以下	8mg/l以下	100mg/l以下	2mg/l以上	-
E	工業用水3級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/l以下	ごみ等の浮遊が認 められないこと	2mg/l以上	-

3) 生活環境の保全に関する環境基準 (湖沼)

	利用目的の適用性	水素イオン濃度 (pH)	化学的酸素要 求量(COD)	浮遊物質 量(SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級・水産1級 自然環境保全およびA以下の 欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/l以下	1mg/l以下	7.5mg/l以上	50MPN/100ml 以下
A	水道2,3級 水産2級・水浴 およびB以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/l以下	5mg/l以下	7.5mg/l以上	1000MPN/100ml 以下
B	水産3級・工業用水1級 農業用水 およびC以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	5mg/l以下	15mg/l以下	5mg/l以上	-
C	工業用水2級 環境保全	6.5以上 8.5以下	8mg/l以下	ごみ等の浮遊が認 められないこと	2mg/l以上	-

4) 生活環境の保全に関する環境基準 (湖沼)

	利用目的の適用性	全窒素(T-N)	全リン(T-P)
	自然環境保全 および以下の欄に掲げるもの	0.1mg/l以下	0.005mg/l以下
	水道1,2,3級(特殊なものを除く) 水産1種 水浴および以下の欄に掲げるもの	0.2mg/l以下	0.01mg/l以下
	水道3級(特殊なもの) および以下の欄に掲げるもの	0.4mg/l以下	0.03mg/l以下
	水産2種 および以下の欄に掲げるもの	0.6mg/l以下	0.05mg/l以下
	水産3種・農業用水 工業用水および環境保全	1mg/l以下	0.1mg/l以下

### (7) 富栄養化の比較

Vollenweider モデルを用い、他ダム貯水池水質と問題発生との関係から、丹生ダムにおける富栄養化に関する問題発生の可能性を考える。

Vollenweider モデルは、湖を均一な完全混合型の1つのボックスと仮定して、リンの物質収支（流入、流出、沈降）を考慮した富栄養化程度の概略予測手法で、世界各地の数多くの湖沼の観測結果を用いて作成した統計学的モデルである。Vollenweider（1975）がこのモデルを発表した後、我が国においてもその適用の可能性が検討され、同様な関係があることが確認されている。

ダム湖などの富栄養化の予測に広く用いられており、「ダム事業における環境影響評価の考え方」（河川事業環境影響評価研究会編：平成12年3月）においても富栄養化の予測手法として、Vollenweider モデルにより富栄養化現象の可能性の判定を行うことが記載されている。

下図は、水資源機構が管理するダム貯水池において実測のリン濃度と Vollenweider モデルによる予測値を比較したものである。モデルによって貯水池のリン濃度をほぼ予測できることがわかる。

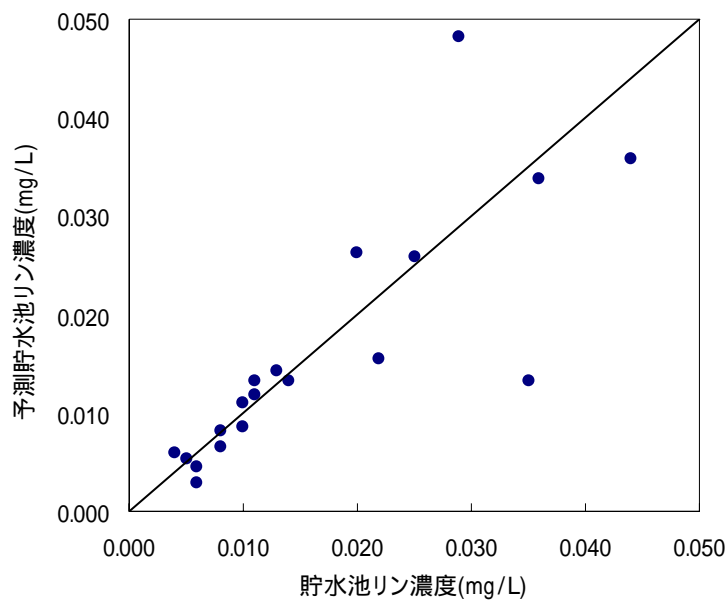


図 2-13 水資源機構ダムにおける貯水池リン濃度の実測値と予測値の比較（2002 年）

Vollenweider モデルにおける丹生ダム及び他ダムの結果を下図に示す。丹生ダムは貧栄養に近い中栄養に図示されることから、アオコの発生等富栄養化問題が発生する可能性は低いと予測される。

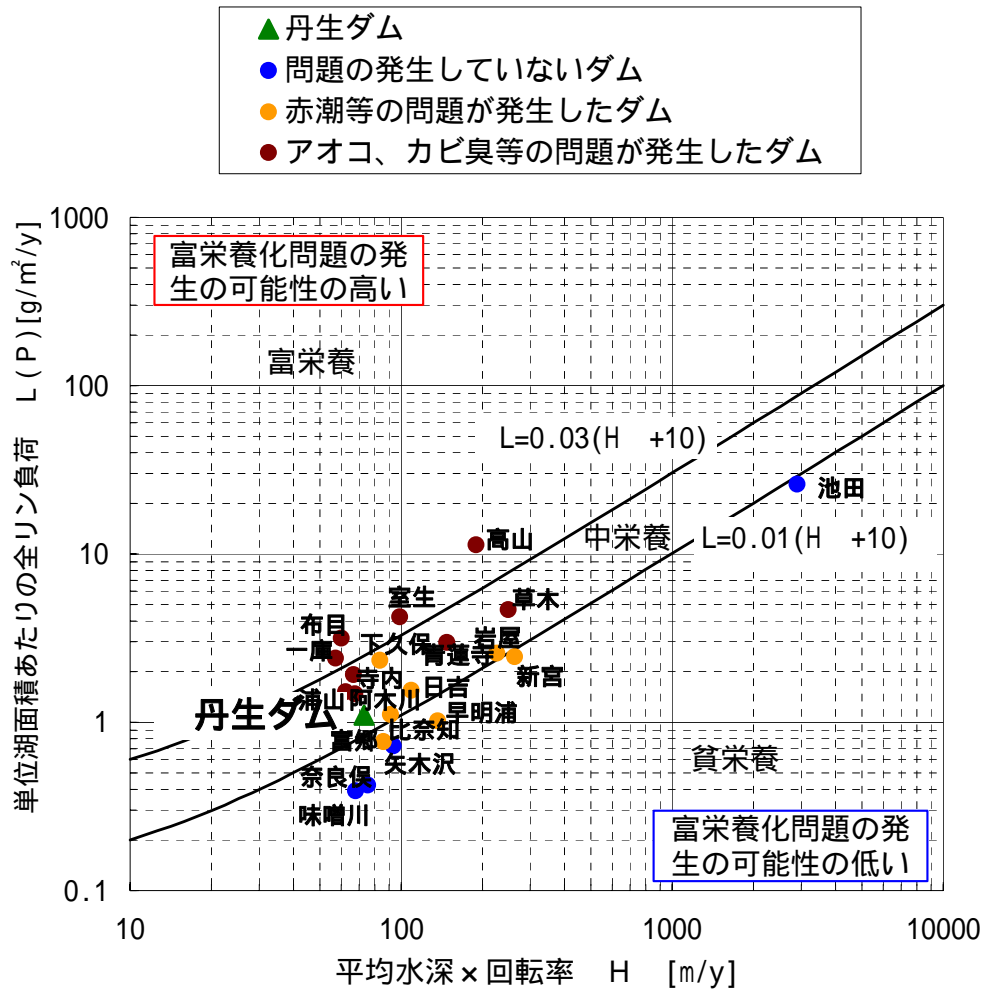


図 2-14 ポーレンバイダー (Vollenweider) モデルによる富栄養化予測  
 $L$  : 単位湛水面積あたりの年間リン流入負荷量  
 $H$  : 平均水深 (常時満水位での貯水容量 / 湛水面積)  
: 回転率 (平均年間総流入量 / 常時満水位での貯水容量)  
1998 ~ 2002年の平均値を用いて検討した。



#### (8) 貯水池水質予測のまとめ

ポーレンバイダーモデルに示したように、これまでの水資源機構の実績から見ると、リン濃度が  $30 \mu\text{g/l}$  を超えるとアオコが発生する可能性が高く、 $10 \sim 20 \mu\text{g/l}$  では淡水赤潮の発生が見られる。文献<sup>1)</sup>からは、総リン濃度が  $30 \mu\text{g/l}$  以上になるとアオコが多く発生する傾向があるとされている。また、クロロフィル a については、文献<sup>2)</sup>から  $50 \mu\text{g/l}$  を超えるとアオコ発生と判断できるとされている。

丹生ダムの場合、リンやクロロフィル a 濃度は、春季に高く、夏季にはあまり高くないという特徴が見られる。年間最大値を示す春季にはリン濃度が  $30 \mu\text{g/l}$  となるが、一般にアオコの発生が問題となるのは夏季であり、夏季については、リン濃度  $20 \mu\text{g/l}$  以下であるので、アオコ発生の可能性は低いと考えられる。クロロフィル a についても、春季の年最大値が  $15 \mu\text{g/l}$  程度、夏季  $5 \mu\text{g/l}$  程度と、いずれも  $50 \mu\text{g/l}$  を大きく下回っており、アオコ発生の可能性は低いと考えられる。

1) 「かび臭発生湖沼の栄養塩とプランクトン相」(橋本徳蔵、第 36 回全国水道研究発表会,1985)

2) 「屋外現地実験を用いたアオコの組成の変化」(相崎守弘・青山莞爾、国立環境研究所,1995)

## 2.2 下流河川水質予測

### (1) 水質予測手法

丹生ダムによる下流河川への水質変化の影響を予測するため、SS、水温、CODの3項目について水質予測を行った。予測にあたって、SS及びCODは流下過程における物質の沈降や浄化を反映できるモデルを適用し、水温は流下過程における大気との熱の授受等を反映できるモデルを適用した。

予測地点は最下流の野寺橋とし、予測の初期条件となるダム直下流地点の水質等のデータについては、貯水池水質予測結果を用いた。

予測項目	SS、COD、水温の3項目
予測地点	川合橋(ダム直下流地点から15.4km地点)、野寺橋(同29.6km地点)
予測対象年	予測対象年は、貯水池水質予測計算の対象年と同じ1992(平成4)年～2002(平成14)年の11年間とした。
ダム直下流地点の水質	ダム直下流地点の水質は、貯水池の水質予測計算結果を用いた。

### (2) 流量の設定

ダム直下流地点から予測地点である最下流の野寺橋地点までを、杉野川や姉川等の流入を考慮して、次頁図に示すように流域分割した。

各地点の流量については、流量観測地点である菅並地点の毎日の流量データを基に比流量を用いて算出した。但し、川合橋から野寺橋までの区間における高時川頭首工での農業用取水及び伏流の現状を考慮した。

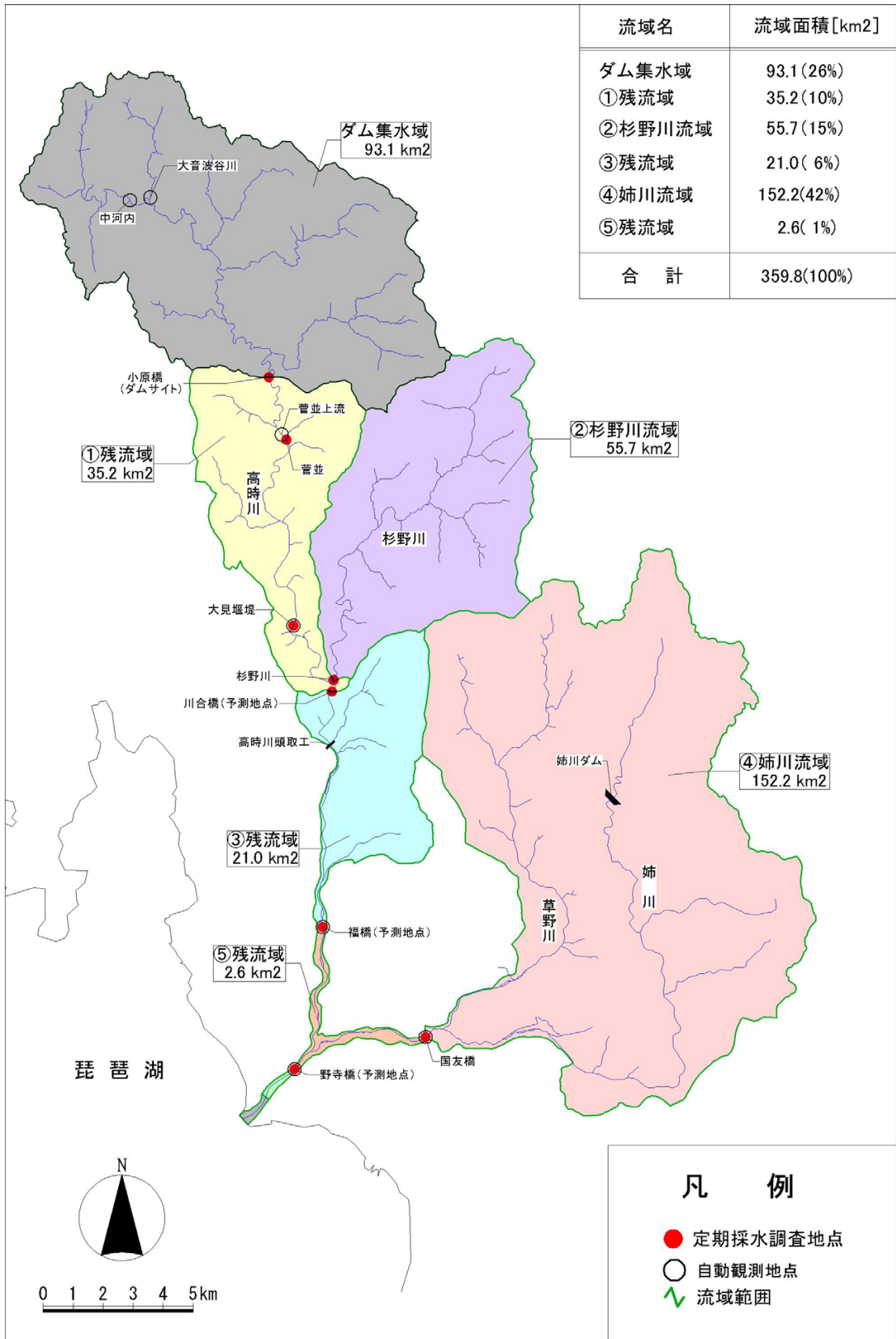


図 2-15 流域分割図

### (3) 水温の予測モデル

ダム下流河川における水温の変化について使用した予測モデルは、ダム放流水に対し、流下過程において、流域からの支川流入及び大気との熱の授受による影響を受けながら予測地点に達するというものである。

予測モデルの基本式及び予測手順は下図に示すとおりである。

(基本式)

$$Q_B = Q_A + \sum Q_i$$

$$T_B = \{T_A \cdot Q_A + \sum T_i \cdot Q_i + (\phi \cdot t_o / (\rho \cdot C_w \cdot H)) \cdot Q_B\} / Q_B$$

- A : ダム直下流地点
- B : 予測地点
- i : 分割流域iの流出地点
- $Q_A, Q_B, Q_i$  : 流量 (m<sup>3</sup>/秒)
- $T_A, T_B, T_i$  : 水温 (°C)
- $\phi$  : 河道における流下過程での大気との熱の授受 (kcal/m<sup>2</sup>/日)
- $t_o$  : ダム直下流地点から予測地点までの流下時間 (日)
- $\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $C_w$  : 比熱 (kcal/kg/°C)
- H : 平均水深 (m)

- 注) 1.河道における流下過程での大気との熱の授受の計算は、「水温論」共立出版(株)を参考とした。  
 2.気象データは貯水池の予測で用いた気象データの3日間移動平均値を使用した。

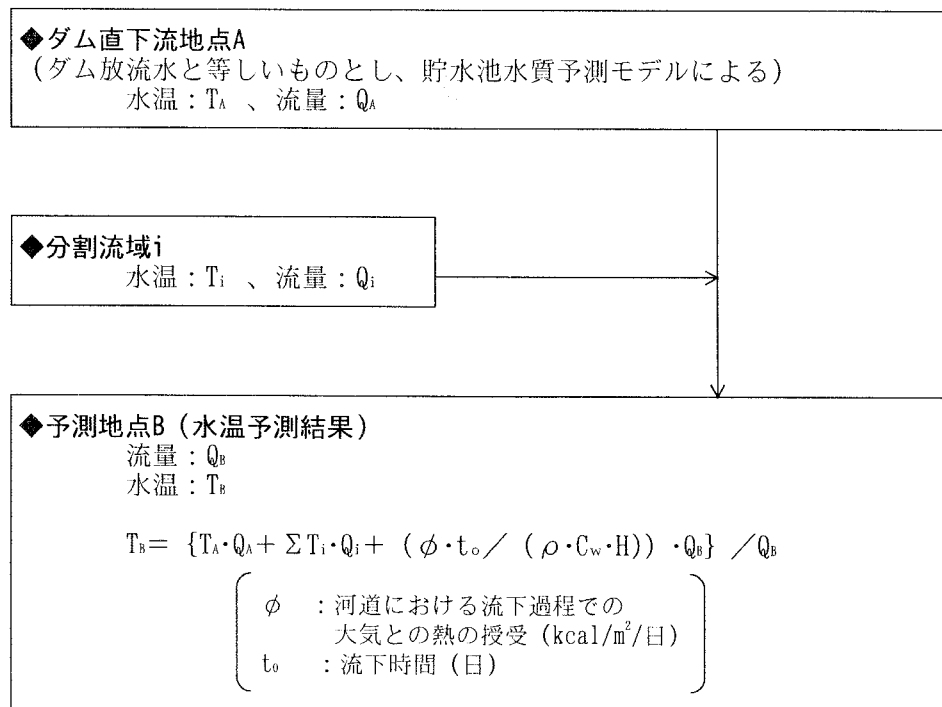


図 2-16 ダム下流河川の水温の予測計算手順

(4) SS の予測モデル

ダム下流河川における SS の変化について使用した予測モデルは、ダム放流水中の SS が、流下過程において沈降等による減少の影響を受けながら、流域から流出する SS とあわせて流下し、予測地点に達するというものである。

予測モデルの基本式及び予測手順は下図に示すとおりである。

(基本式)

$$Q_B = Q_A + \sum Q_i$$

$$C_B = \{L_A \cdot \exp(-k \cdot t_A) + \sum L_i \cdot \exp(-k \cdot t_i)\} / Q_B$$

- A : ダム直下流地点
- B : 予測地点
- i : 分割流域iの流出地点
- $Q_A, Q_B, Q_i$  : 流量 (m<sup>3</sup>/秒)
- $C_A, C_B, C_i$  : 水質 (mg/L)
- $L_A, L_B, L_i$  : 負荷量 (g/秒)
- $t_A$  : ダム直下流地点から予測地点までの流下時間 (日)
- $t_i$  : 分割流域から予測地点までの流下時間 (日)
- k : 減少係数 (1/日)

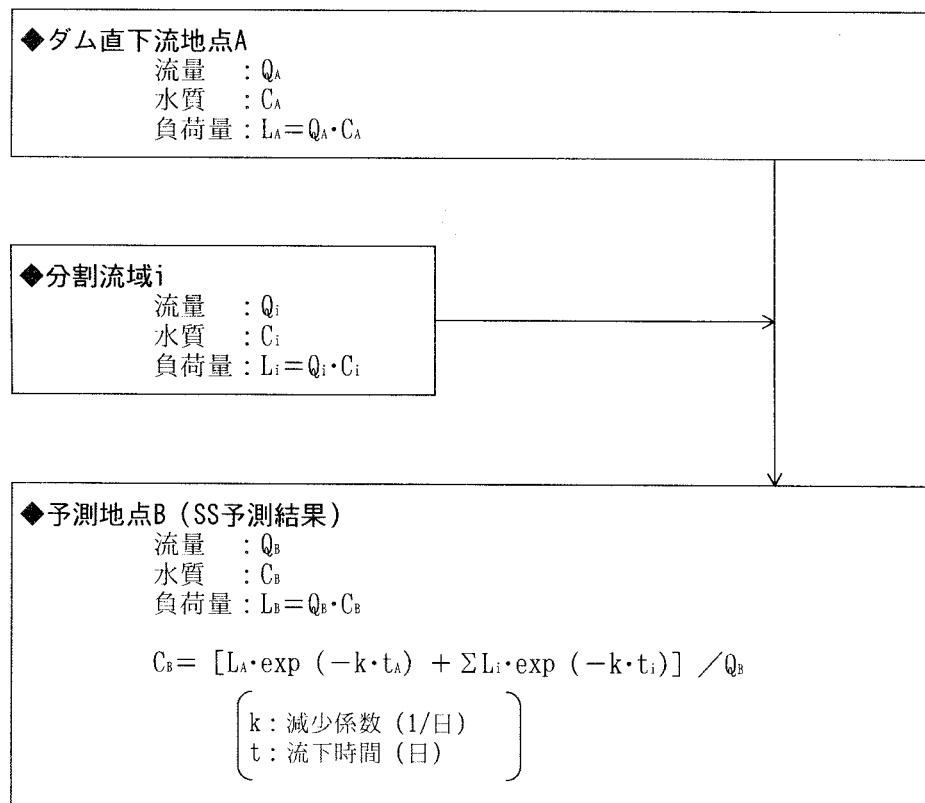


図 2-17 ダム下流河川の SS の予測計算手順

(5) COD の予測モデル

ダム下流河川における COD の変化について使用した予測モデルは、ダム放流水中の COD が、流下過程において沈降や分解等による減少の影響を受けながら、流域から流出する COD とあわせて流下し、予測地点に達するというものである。

予測モデルの基本式及び予測手順は下図に示すとおりである。

(基本式)

$$Q_B = Q_A + \sum Q_i$$

$$C_B = \{L_A \cdot \exp(-k \cdot t_A) + \sum L_i \cdot \exp(-k \cdot t_i)\} / Q_B$$

- A : ダム直下流地点
- B : 予測地点
- i : 分割流域iの流出地点
- $Q_A, Q_B, Q_i$  : 流量 (m<sup>3</sup>/秒)
- $C_A, C_B, C_i$  : 水質 (mg/L)
- $L_A, L_B, L_i$  : 負荷量 (g/秒)
- $t_A$  : ダム直下流地点から予測地点までの流下時間 (日)
- $t_i$  : 分割流域から予測地点までの流下時間 (日)
- k : 自浄係数 (1/日)

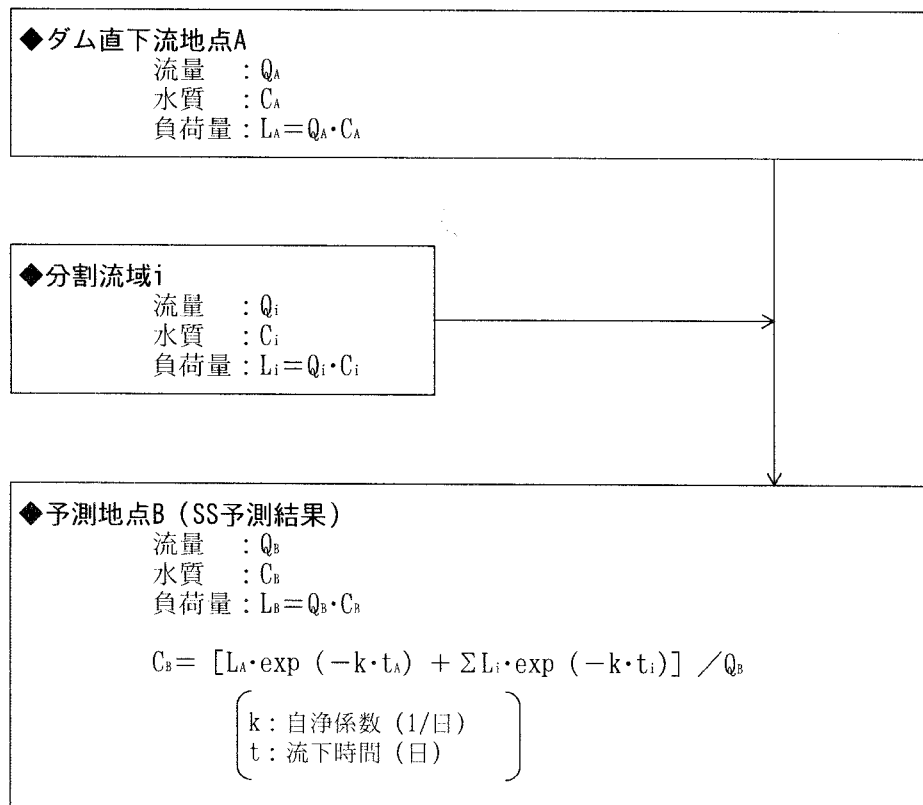


図 2-18 ダム下流河川の COD の予測計算手順

(6) 水質予測結果

1) 冷水現象に関する予測

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間とし、このうち夏季の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年として以下に示す。

ダムサイト地点では冷水を放流することがない。また、ダムがない場合、夏季には河川下流ほど水は温められる傾向であるが、ダムから環境放流を行う場合、夏季水温はほぼ一定で、下流の野寺橋地点の水温はダムなしの場合とほぼ同じとなっている。

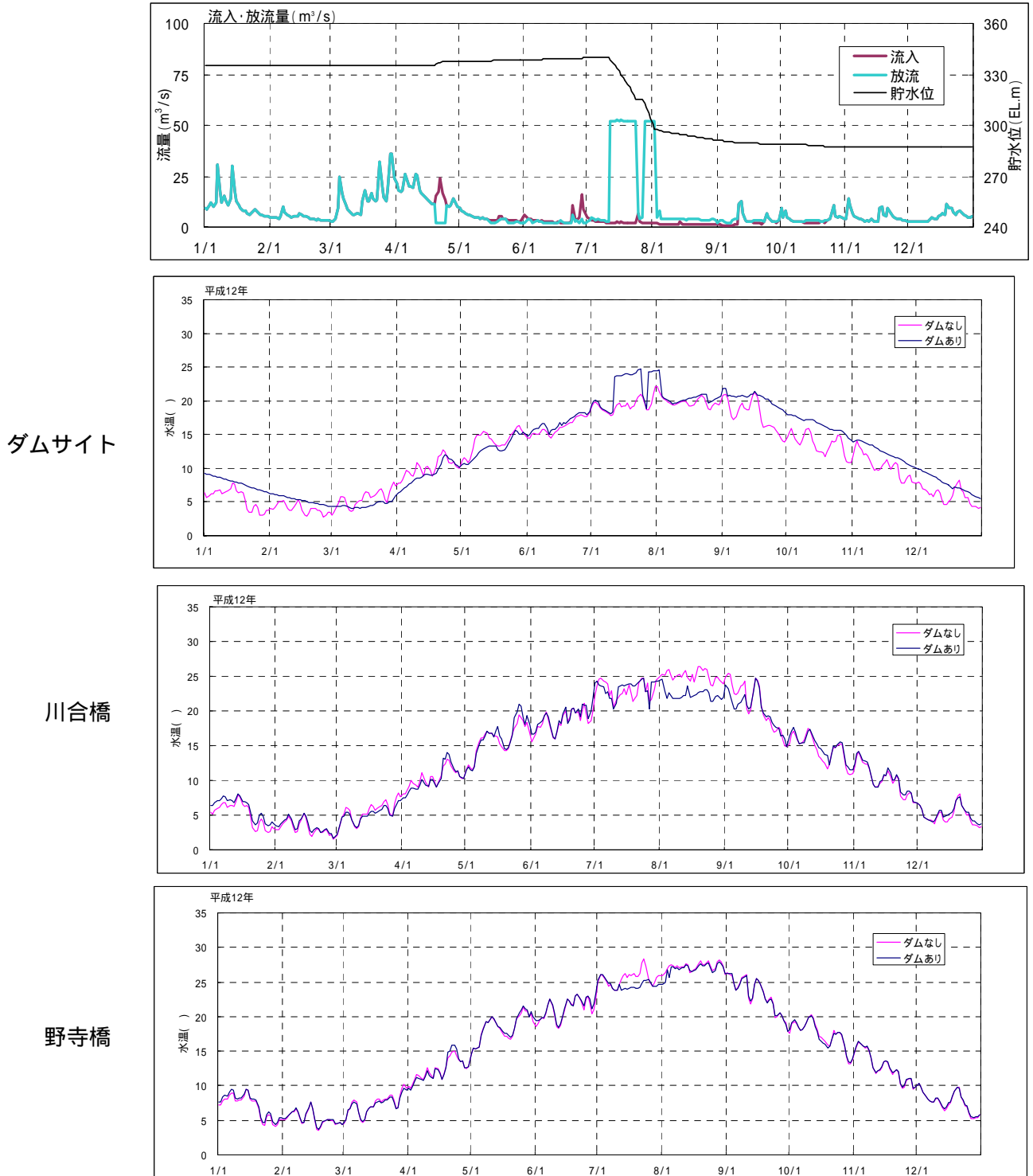


図 2-19 冷水現象に関する予測 (2000 年)

## 2)濁水現象に関する予測

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間とし、このうち流入SSのピーク流入濃度が最も高い2002年を代表年として示す。

放流SSが流入SSを上回ることほとんどない。下流河川においてはダムの有無による差はほとんど見られない。

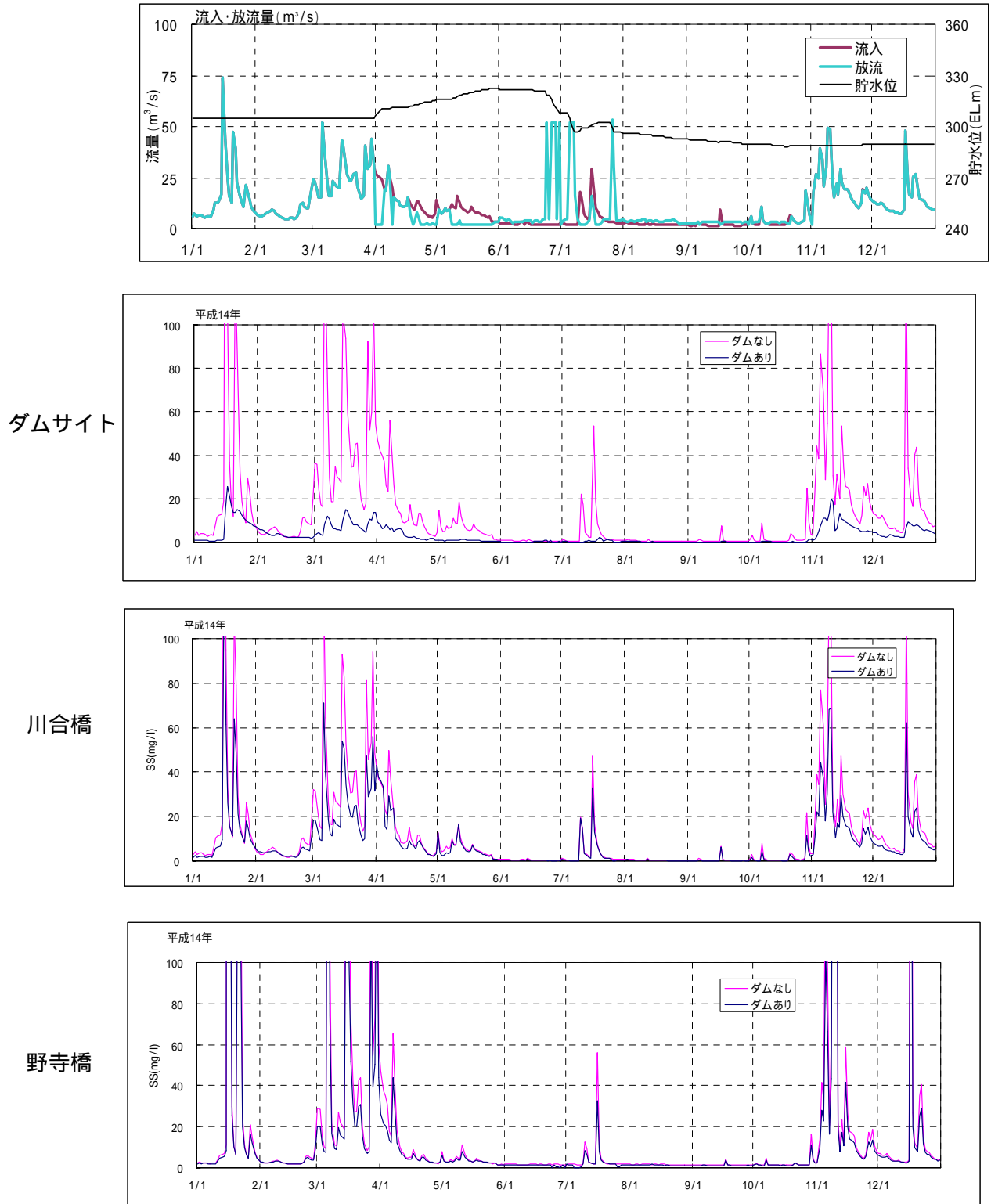


図 2-20 濁水現象に関する予測 (2002 年)



### 3) 富栄養化現象に関する予測

予測対象期間は現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間とし、このうち夏季の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年として以下に示す。

ダム地点ではダムなしの場合CODの値が高くなっており、川合橋地点でもまだ同様の傾向が見られるが、下流の野寺橋地点のCODはダムなしの場合とほぼ同じとなっている。

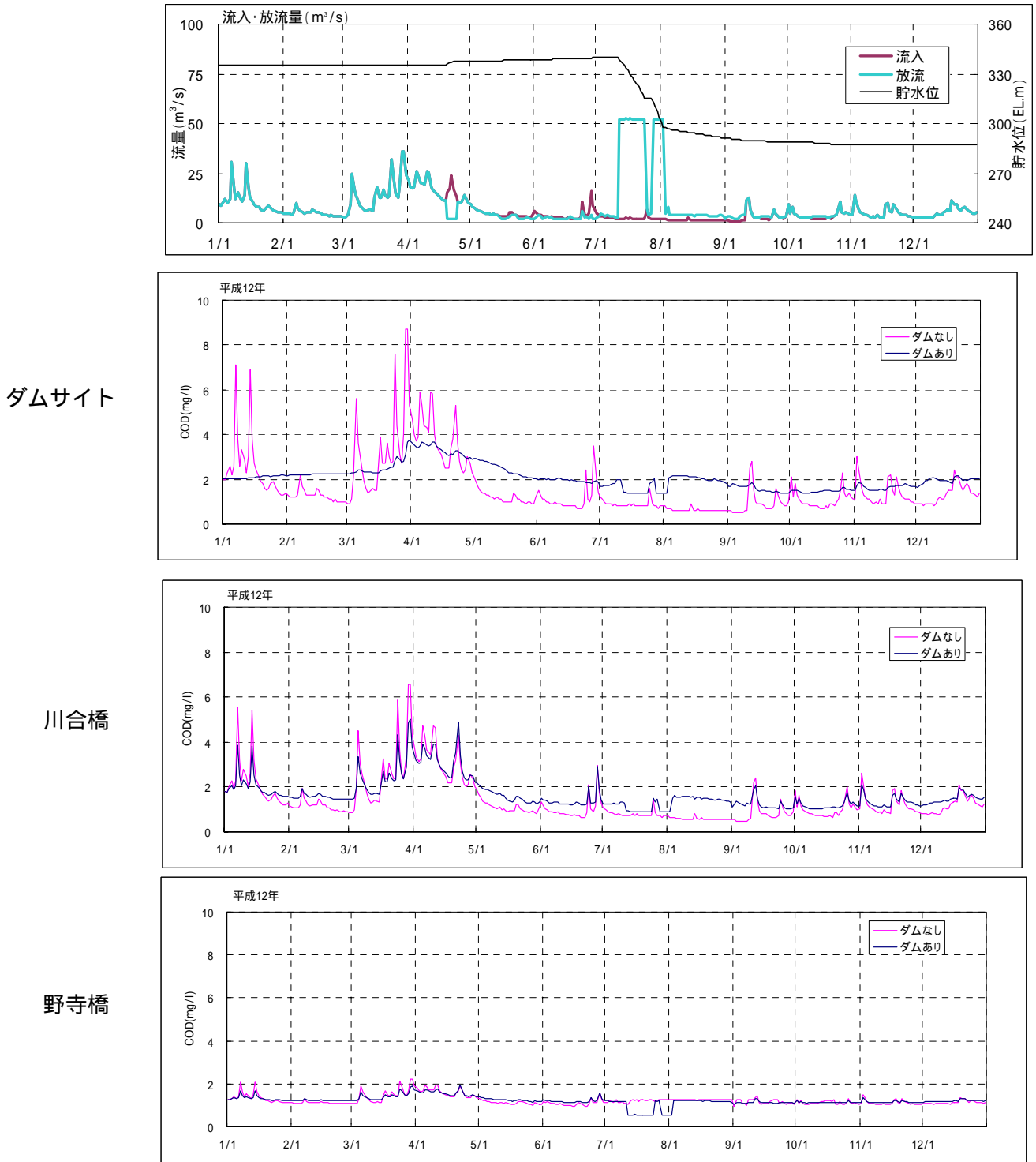


図 2-21 富栄養化現象に関する予測 (2000 年)

(7) 下流河川水質予測のまとめ

水質予測のまとめを以下に示す。

琵琶湖への補給水の水温について

1992年から2002年の水質予測の結果、曝気循環装置を適切に運用することにより、冷水放流することなく琵琶湖への補給を行うことができることが明らかとなった。

下流河川では流下に伴い、さらに影響が小さくなり、ダムの有無による差はほとんどなくなるということが明らかとなった。

放流水の濁水長期化について

1992年から2002年の水質予測の結果、放流水のSS濃度は年間を通じほとんどの期間で流入水のSS濃度を下回っていることが明らかとなった。

下流河川では流下に伴い、さらに影響が小さくなり、ダムの有無による差はほとんどなくなるということが明らかとなった。

丹生ダム貯水池の富栄養化について

流入水質が近傍河川を比較すると良好であり、アオコ発生等の富栄養化問題が発生する可能性は低いことが予測された。

下流河川では流下に伴い、さらに影響が小さくなり、ダムの有無による差はほとんどなくなるということが明らかとなった。