

2.2 丹生ダムにおける水質問題発生の可能性について

(1) 水質予測モデルの概要

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、鉛直次元モデルを採用する。

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。

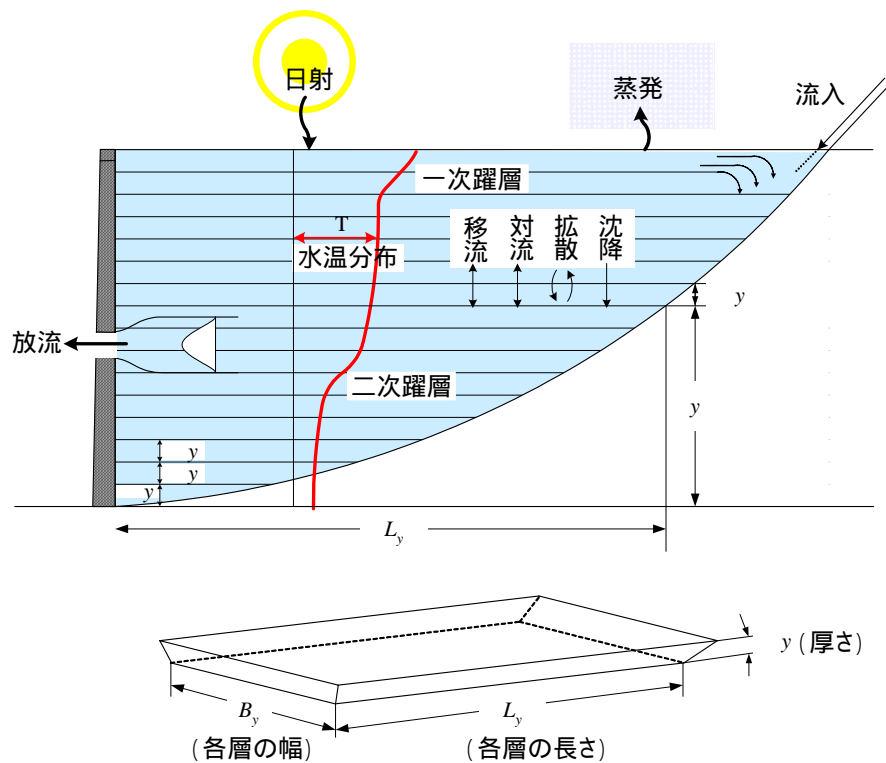


図 2.2.1 鉛直一次元モデルの概念図

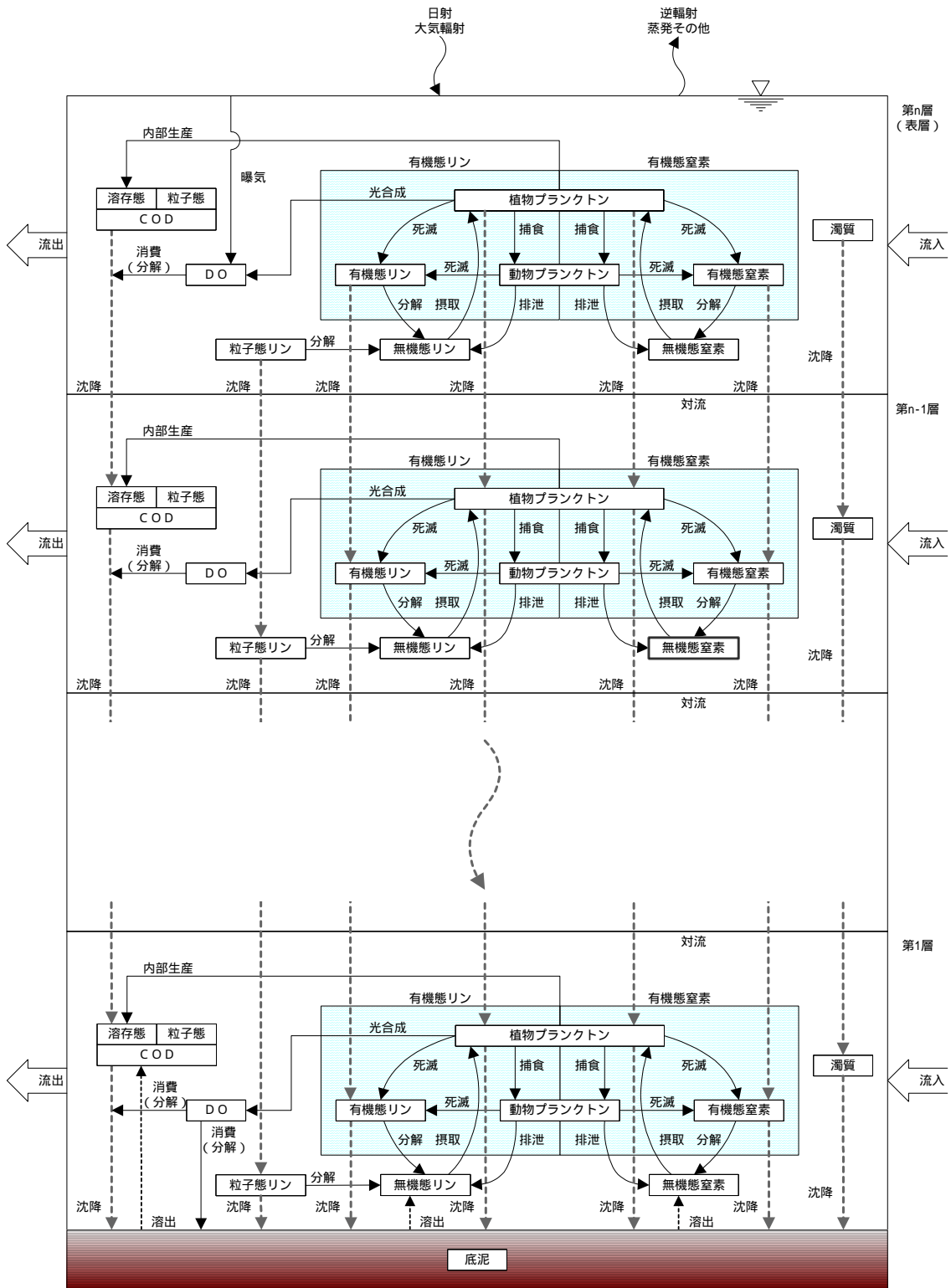


図 2.2.2 貯水池内水質変化機構概念図

(2) 予測条件

丹生ダム貯水池水質の予測条件は、表 2.2.1 に示すとおりである。

表 2.2.1 丹生ダム貯水池水質の予測条件

項目	内容
1.貯水池形状	5 mピッチの丹生ダム貯水位 - 容量早見表、貯水位容量配分表から 2 mピッチでの面積および貯水池長を求めた。
2.貯水池運用	流入量・放流量 流入量と放流量は、利水計算における丹生ダム流況等の半旬データから日データに換算した。 貯水位 計算開始日の標高を与え、以降は流入量および放流量から貯水位 - 容量の関係を用いて算出した。
3.気象データ	鷲見観測所の観測データ(不足データについては敦賀測候所データを換算して使用)
4.流入河川水質	採水時の気温、水温および流入量と水質の関係から算出
5.初期水質	水資源機構の既設ダムのうち近傍で流入栄養塩濃度が比較的類似している日吉ダムを参考に設定。
6.パラメータ	比奈知ダムを対象に再現計算を実施し、パラメータを設定
7.対象期間	1985年(昭和60年)~1994年(平成6年)

また、丹生ダム放流設備の条件は、表 2.2.2 に示すとおりである。

表 2.2.2 丹生ダム放流設備の条件

放流施設名	取水範囲等
選択取水設備	・放流標高：表層 -1.0m (選択取水範囲：~349m) ・取水能力：最大 35.0 ・取水条件 等流入水温層放流 + 出水後の清水運用 (SS10mg/L まで許容した運用)
自由越流放流設備	夏季(6月16日~10月15日) EL.342.0m
	冬季(10月16日~6月15日) EL.349.5m
底部放流設備	EL.270.8m

各予測対象年における丹生ダムの流況を、図 2.2.3~2.2.4 および表 2.2.3 に示す。

表 2.2.3 計算対象年における流況(ダム流入水：菅並地点)

年	年最大値 m ³ /s	豊水流量 m ³ /s	平水流量 m ³ /s	低水流量 m ³ /s	渇水流量 m ³ /s	年最小値 m ³ /s	年平均値 m ³ /s	総流入量 10 ⁶ × m ³ /年
1985	67.71	11.33	5.13	2.89	1.58	1.45	9.44	297.8
1986	62.78	9.87	4.44	2.88	1.96	1.66	8.80	277.5
1987	44.86	6.33	3.95	2.53	1.56	0.65	5.84	184.1
1988	53.79	10.50	6.93	4.25	2.41	2.00	8.75	276.8
1989	80.33	9.25	6.34	4.13	2.24	0.99	8.05	253.9
1990	71.76	8.94	6.21	3.77	1.99	1.30	7.54	237.8
1991	55.65	10.26	6.29	4.01	1.98	1.61	9.13	287.8
1992	42.67	8.46	4.71	2.77	1.41	1.08	6.43	203.5
1993	49.68	12.09	7.86	4.70	2.45	0.08	9.79	308.8
1994	35.14	7.45	4.29	2.15	1.07	0.95	5.54	174.7

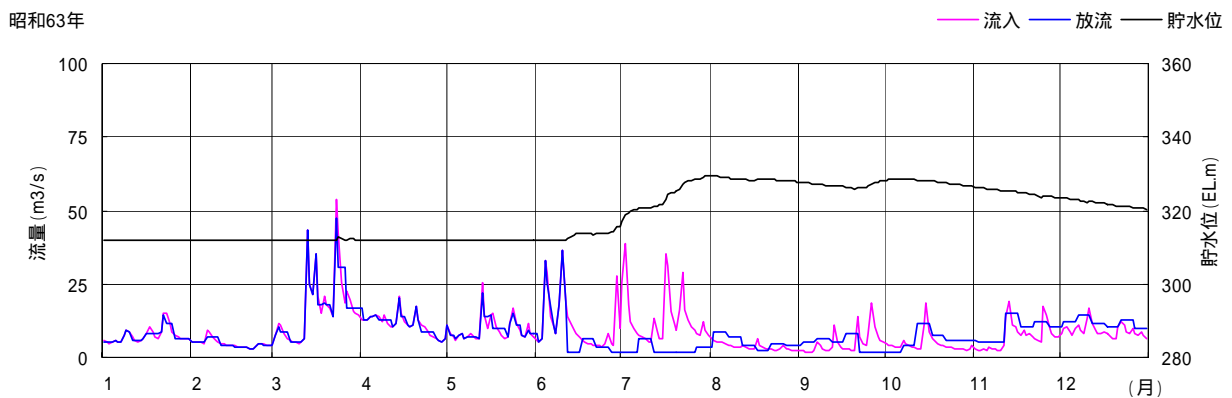
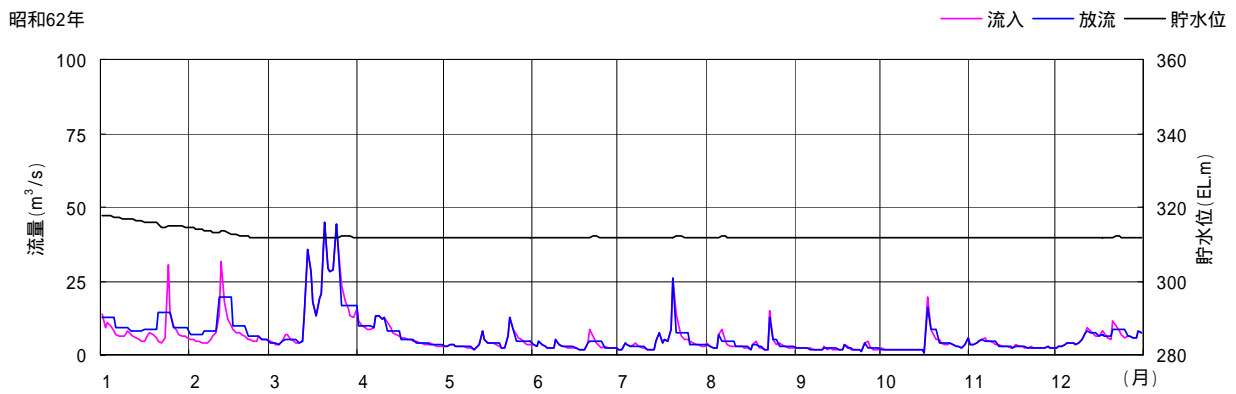
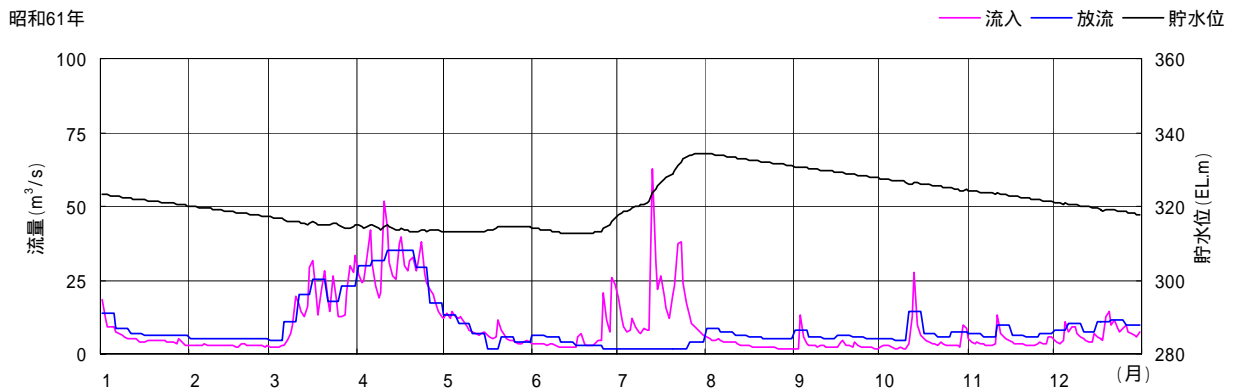
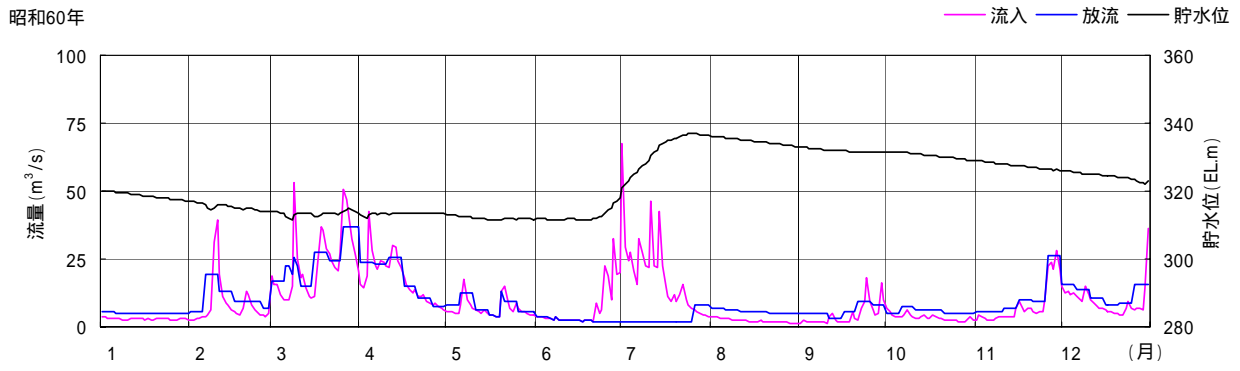


図 2.2.3 丹生ダム流入量、放流量、貯水位図 (1985～1988年：選択取水設備のみ)

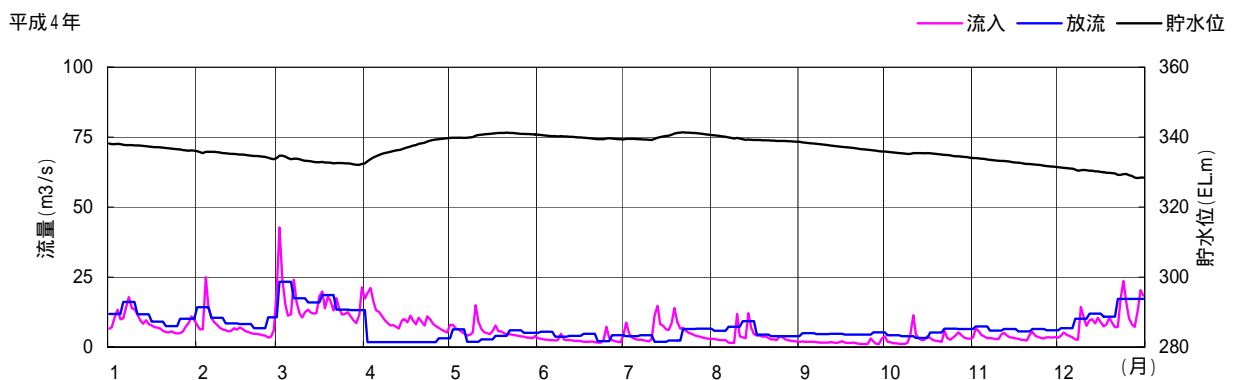
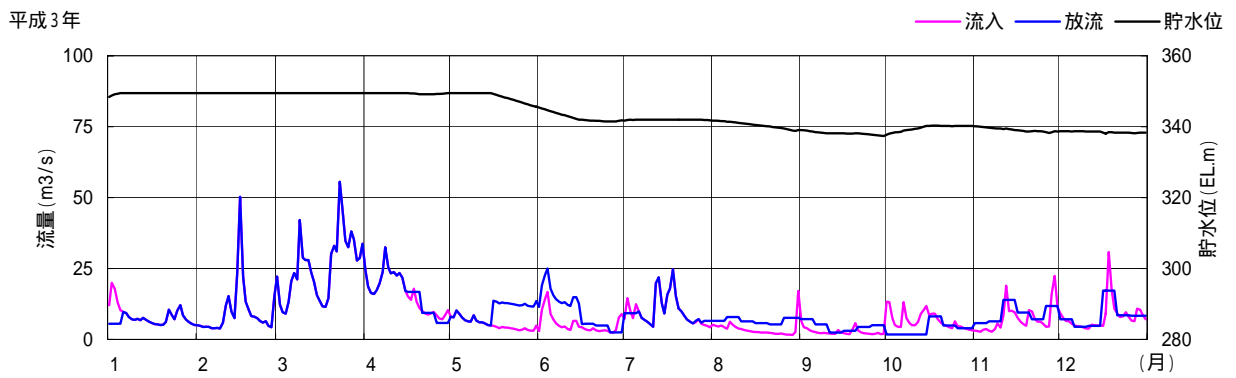
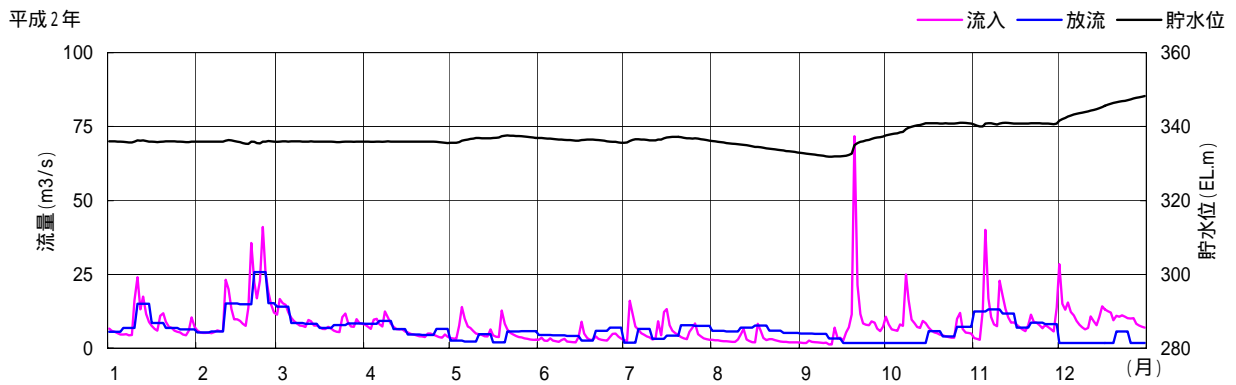
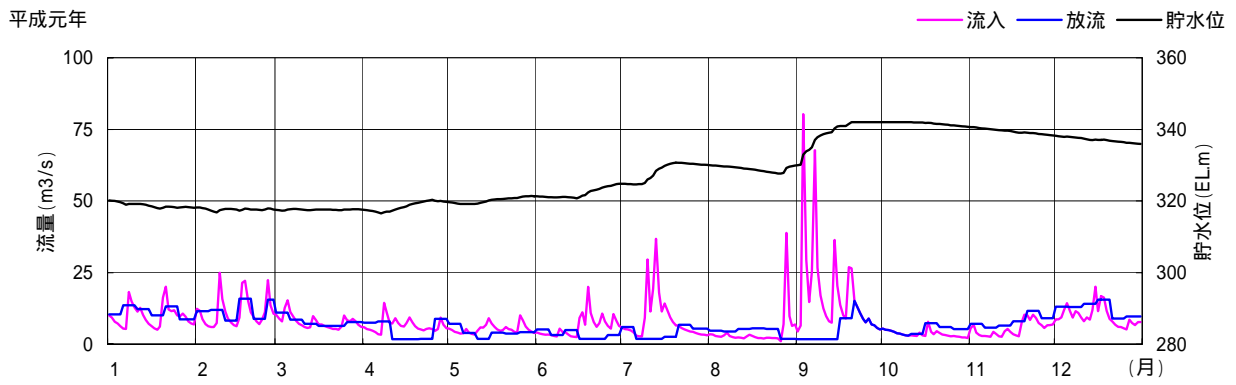


図 2.2.4 丹生ダム流入量、放流量、貯水位図 (1989~1992年: 選択取水設備のみ)

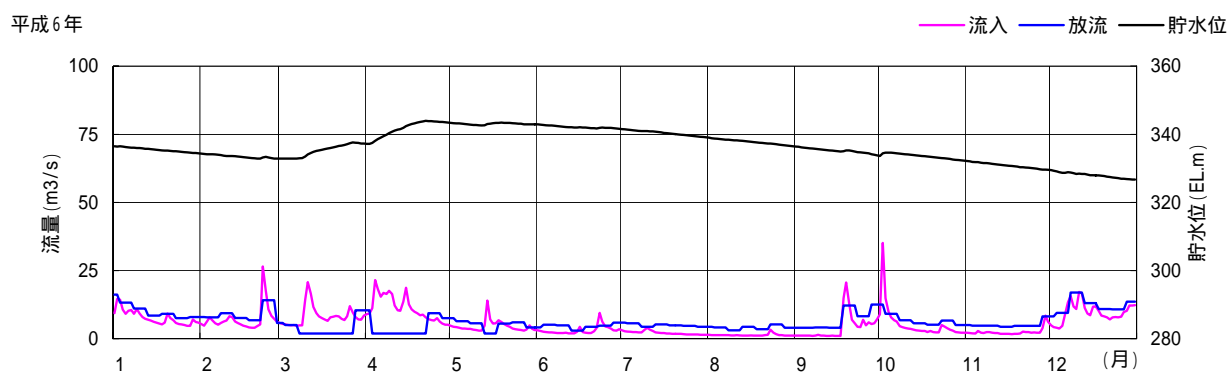
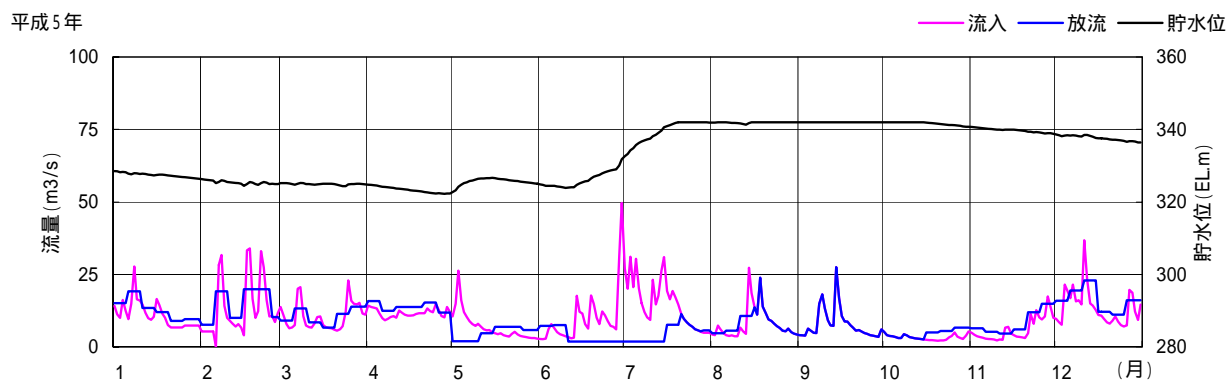


図 2.2.5 丹生ダム流入量、放流量、貯水位図（1993～1994年：選択取水設備のみ）

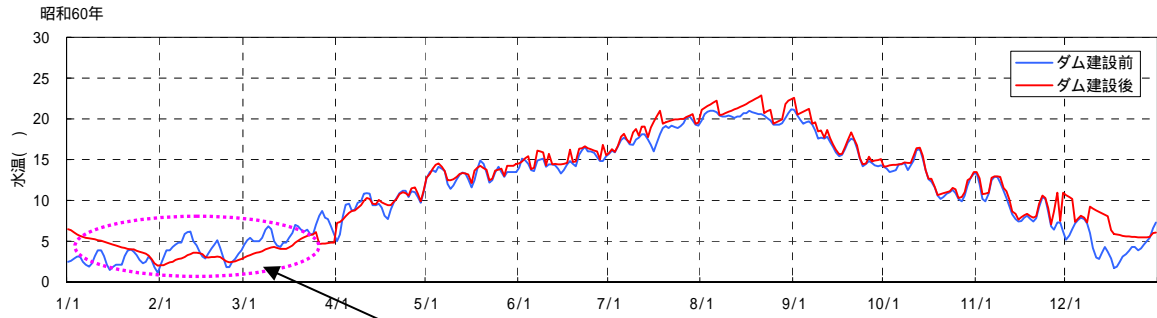
(3) 貯水池水質予測について

冷温水現象について

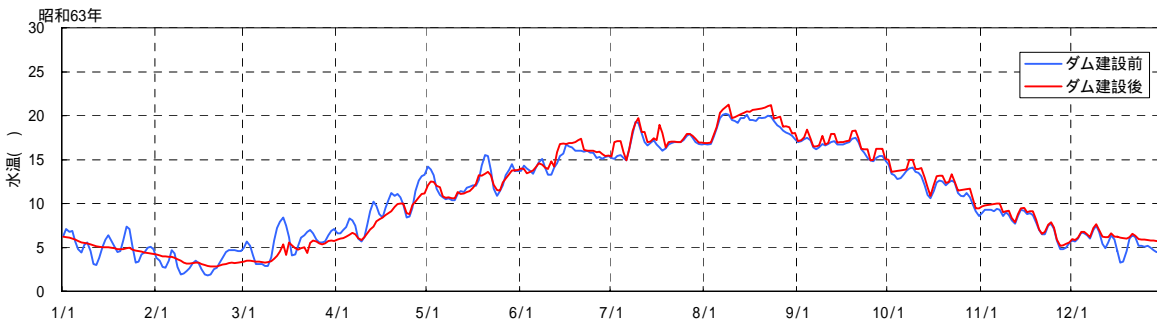
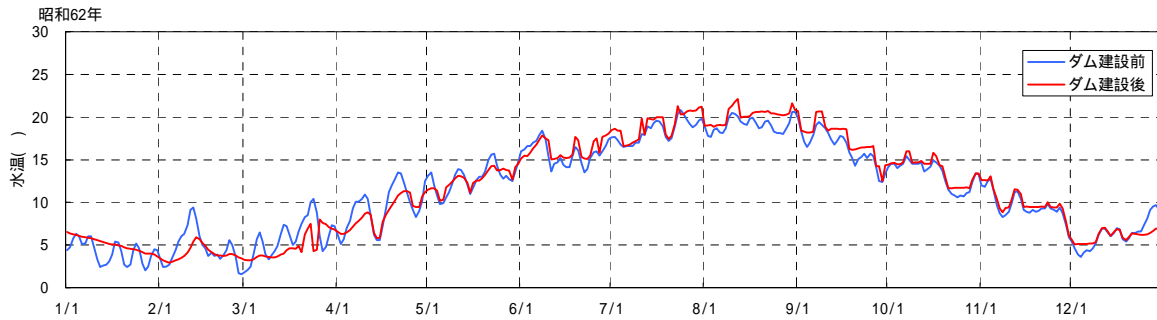
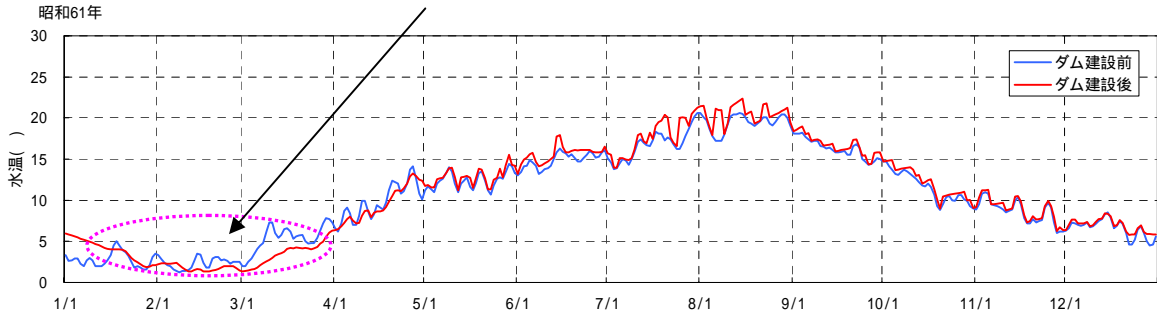
前述した条件にもとづき、丹生ダムの放流水温を予測した結果を図 2.2.6～2.2.7 に示した。

- ・丹生ダム建設後の貯水池放流水温については、循環期の 1～3 月では、放流水温は流入水温よりもやや低めとなる場合があるが、全体としては、選択取水設備の運用によって概ねダム建設前の水温と同等のレベルを維持する結果となっている。
- ・一方、1989 年の 9 月中旬以降の成層の崩壊が始まる時期において、出水による流入水を貯留した場合、出水後濁度の低い表層から継続的に貯水池水を取水することにより、一時的に流入水よりも温度が高い（5 程度）貯水池水を放流する可能性がある。

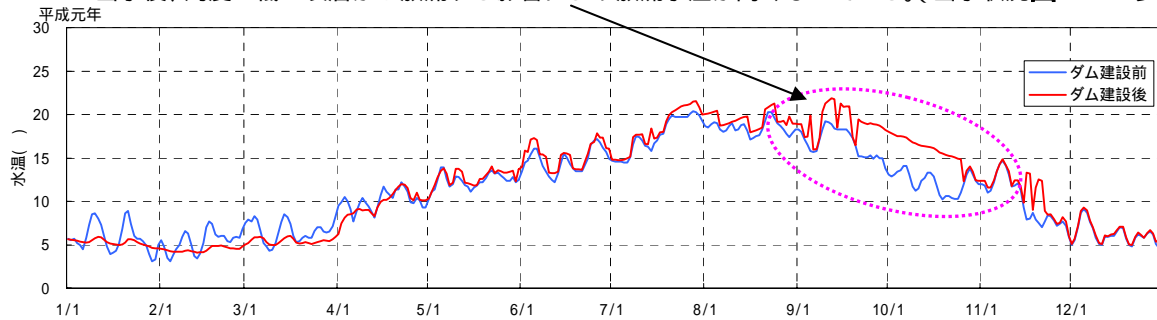
注) ダム建設後 = ダム放流水質 ダム建設前 = ダム流入水質



放流水温がやや低くなる場合はある例

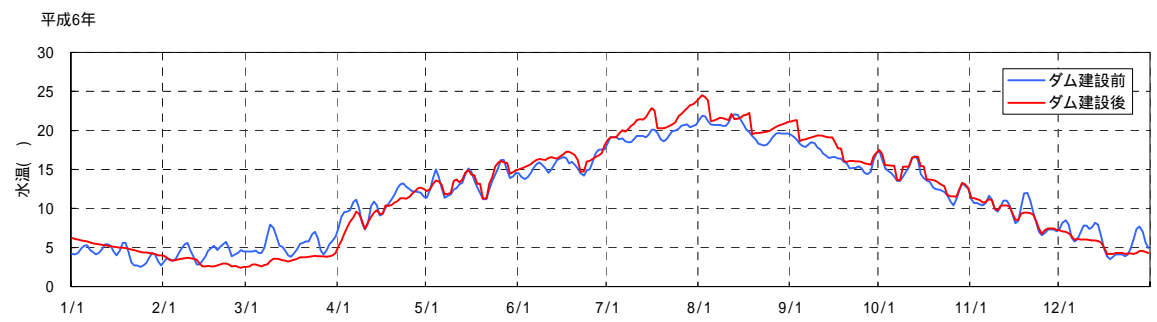
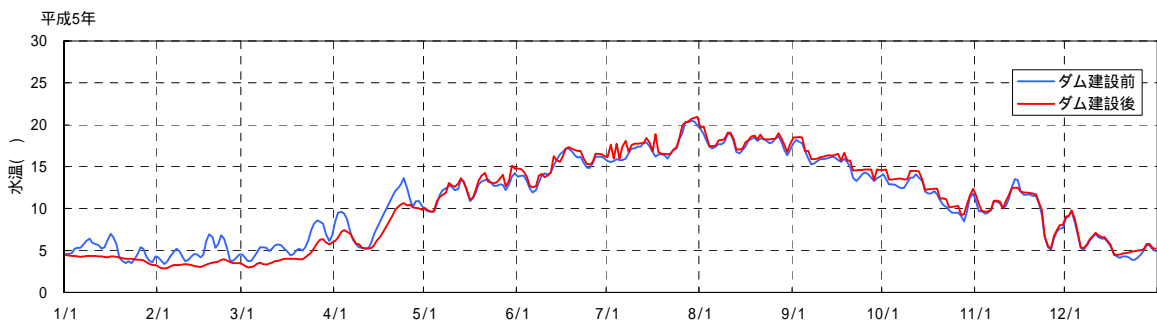
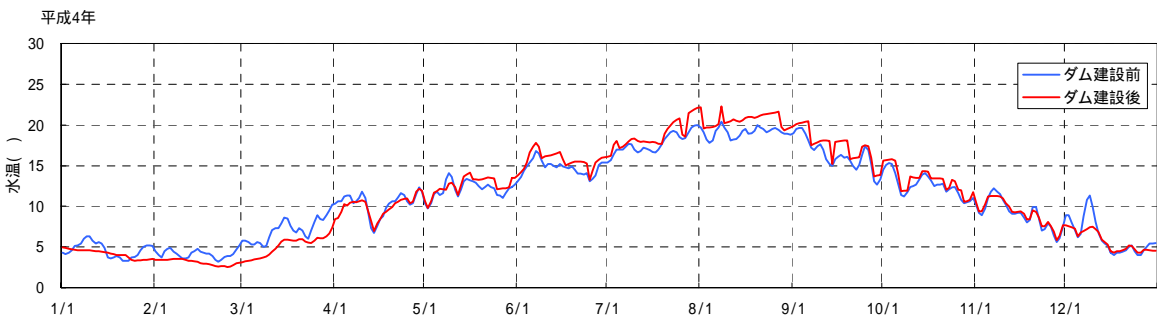
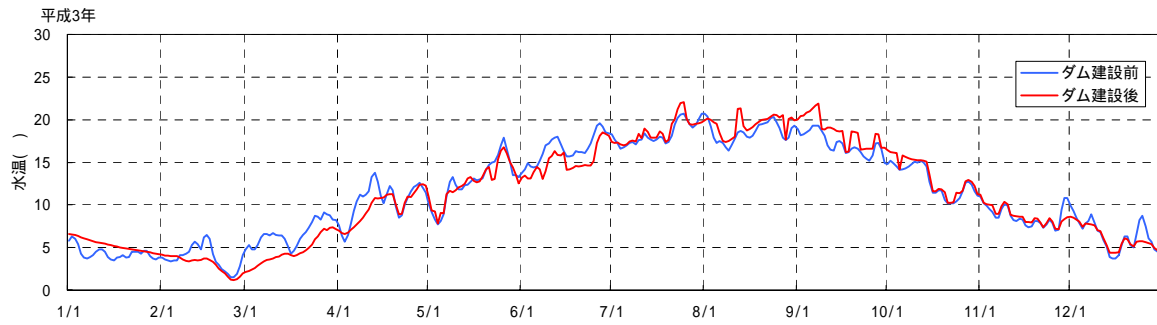
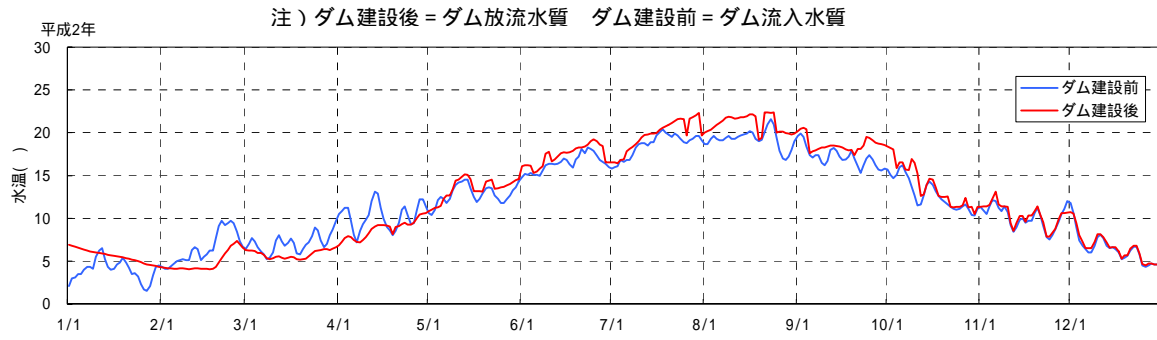


・出水後、濁度の低い表層から放流する影響により放流水温が高くなっている。(出水状況 図 2.2.4 参照)



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.6 丹生ダム水質計算結果 (水温: 1985~1989年)



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

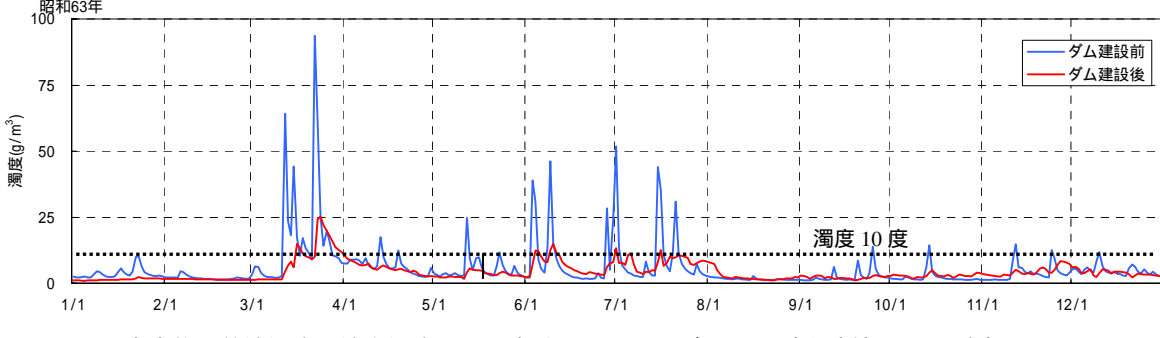
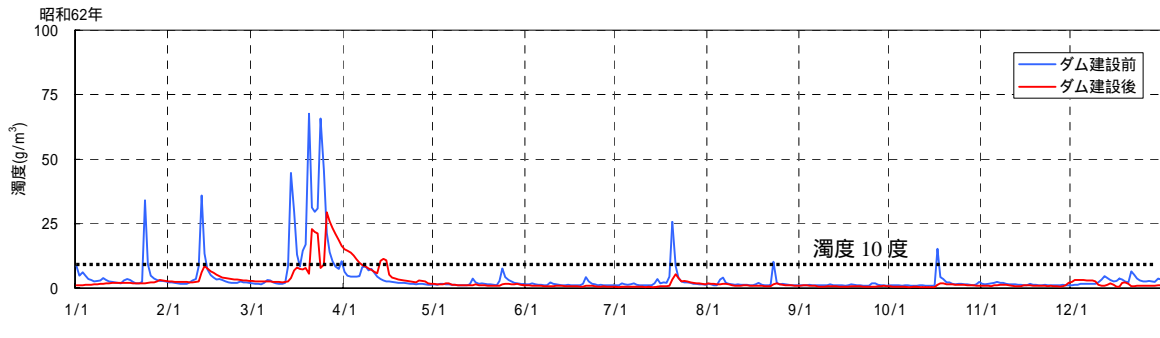
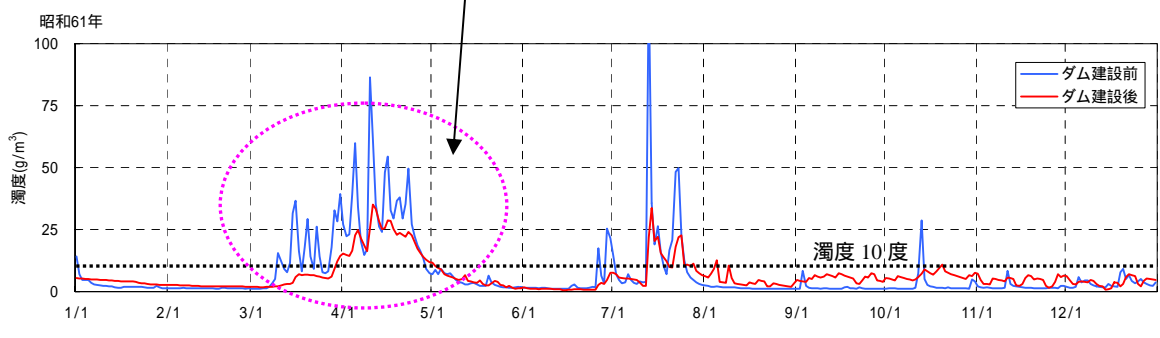
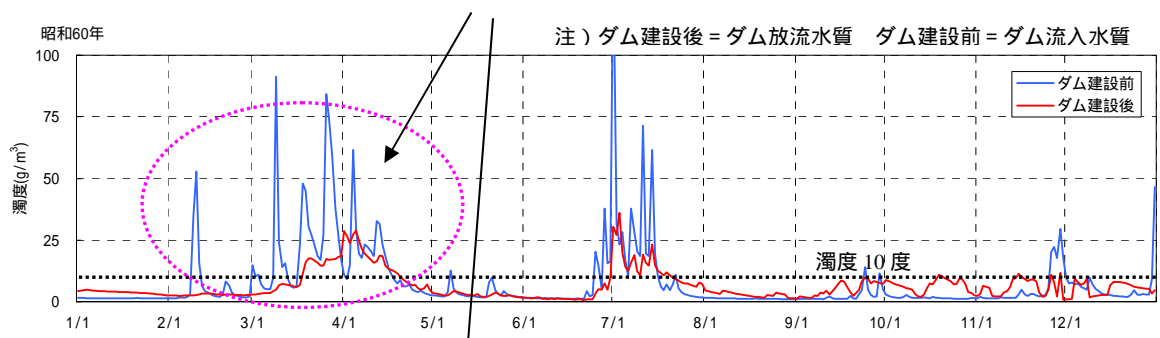
図 2.2.7 丹生ダム水質計算結果 (水温: 1990 ~ 1994 年)

濁水の長期化現象について

丹生ダムの放流濁度およびSS濃度を予測した結果を図2.2.8～2.2.11に示した。

- ・濁水の長期化現象については、1989年や1990年には出水が連続的に生起し、出水後が成層崩壊時期にあたる場合に、放流濁度が流入濁度を上回りその状態が継続する予測結果となっている。
- ・その他の年においては出水時も含め、貯水池が沈殿池的な役割を果たすことから概ね放流濁度は流入濁度がよりも低くなっている。
- ・また、既往最大規模の出水（1953年7月に日平均159m³/sの流入量）の場合には、選択取水設備の運用を水温優先から濁度優先にすることにより、放流濁度を短期に低下させることができる予測結果となっている。（図2.2.12参照）

・融雪期は、ダムがない方が全体として濁度レベルが高くなっている。



・出水後、放流濁度は流入濁度よりも高くなっているが、30日以上連続して10度を超えることはない。

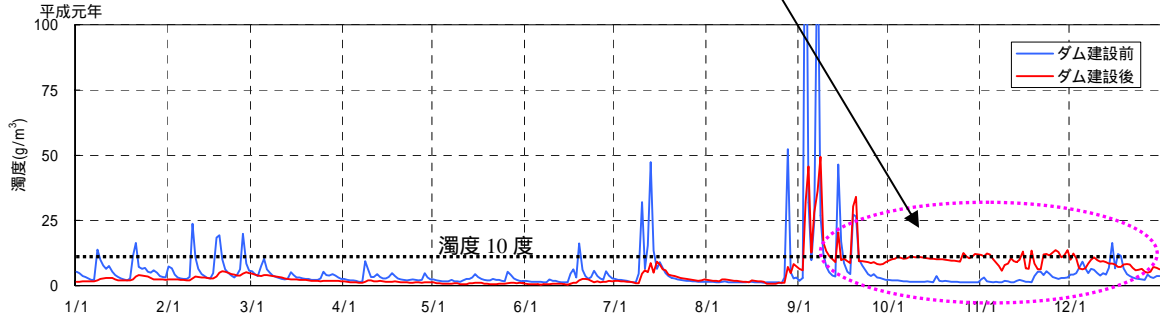
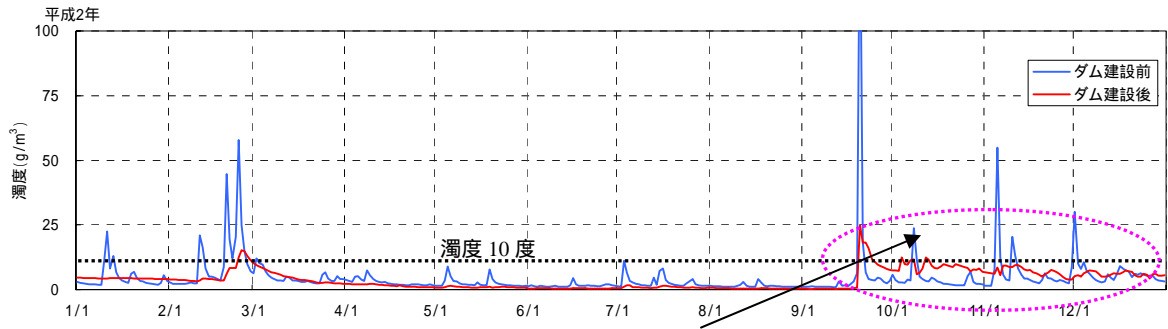


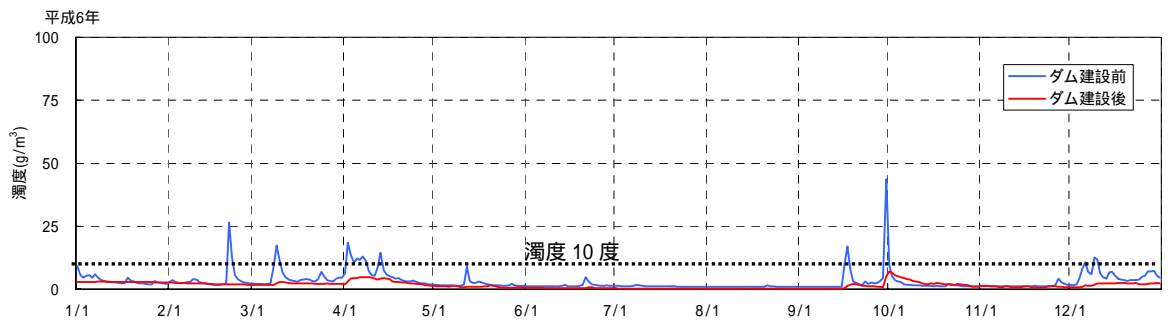
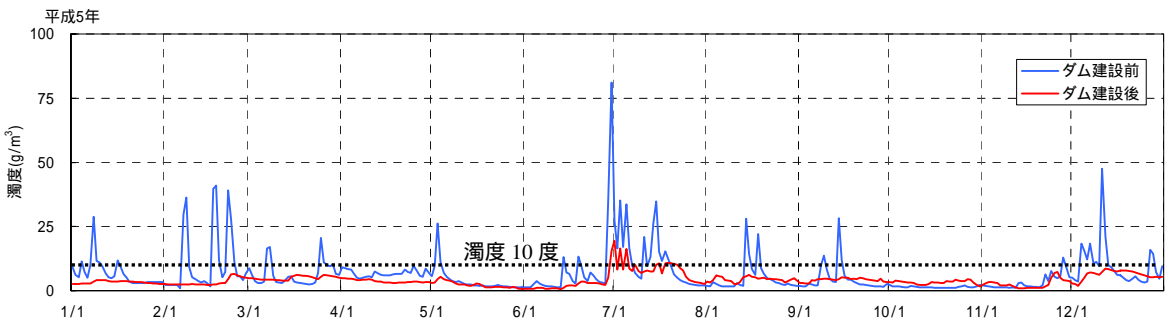
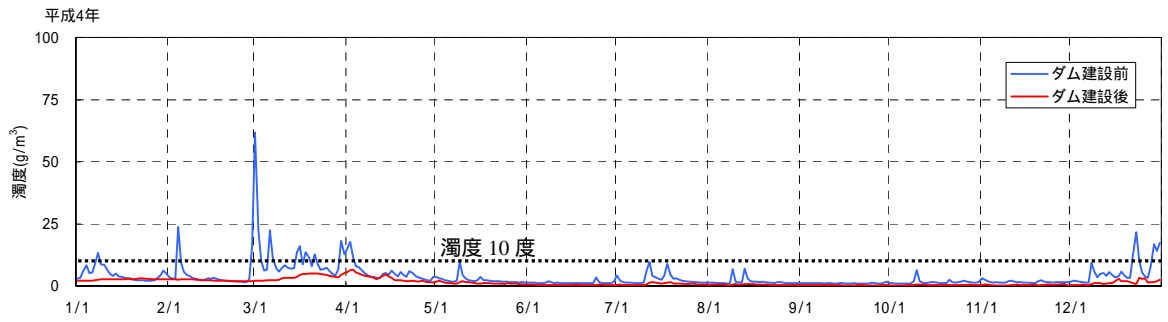
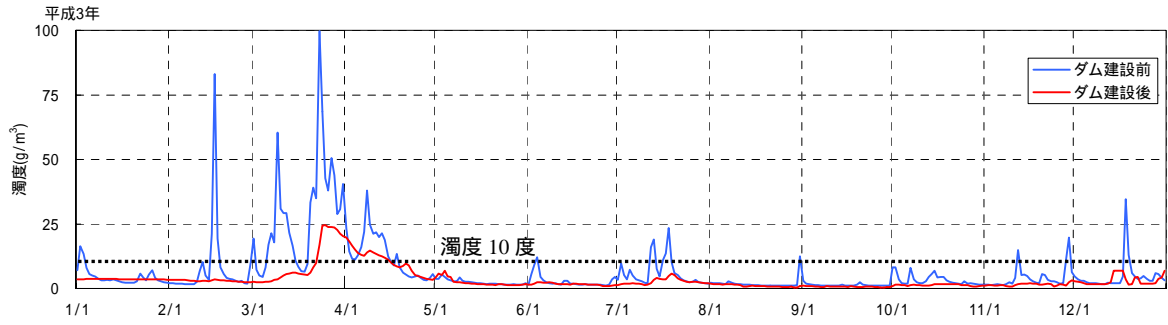
図 2.2.8 丹生ダム水質計算結果（濁度：1985～1989年）

注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

注) ダム建設後 = ダム放流水質 ダム建設前 = ダム流入水質



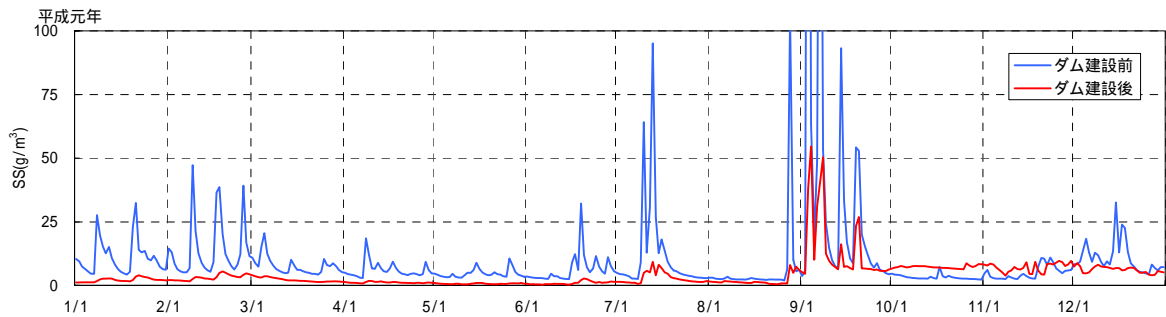
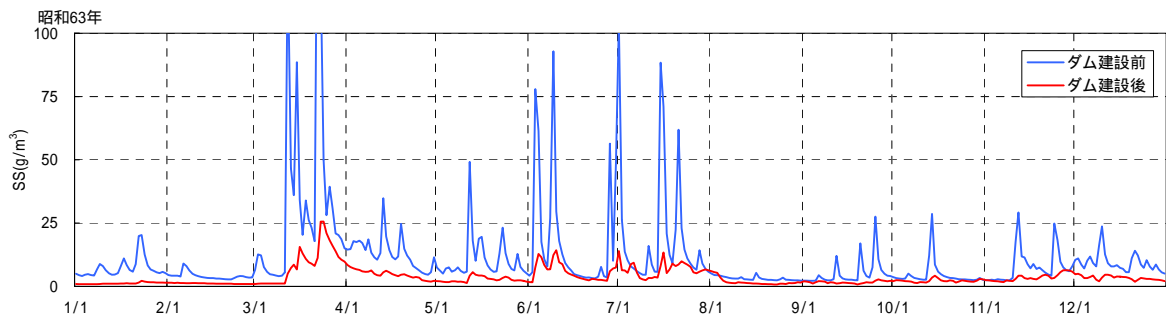
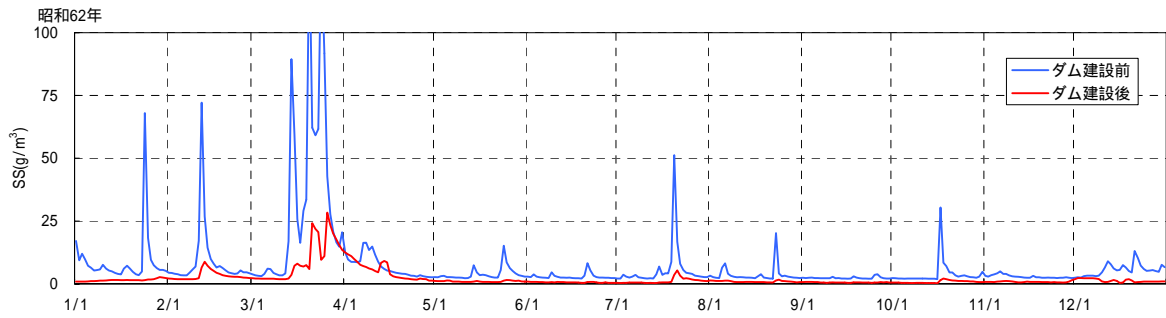
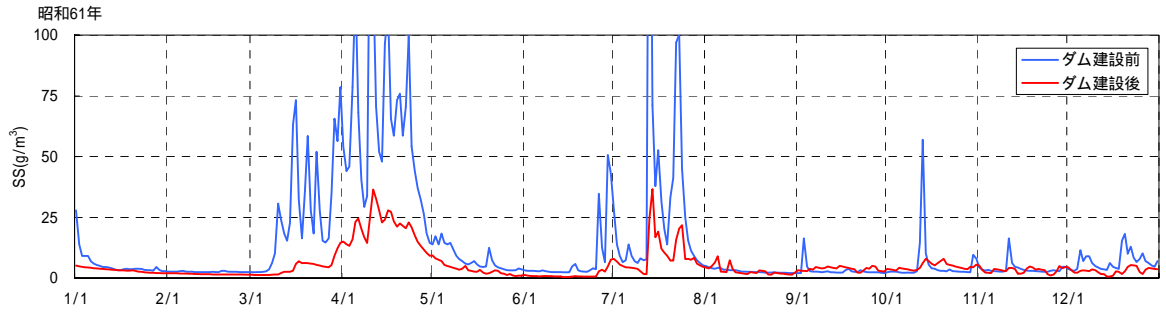
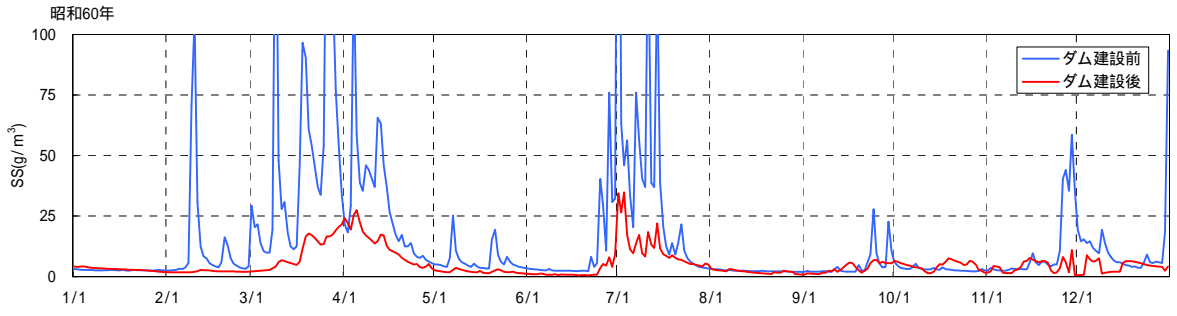
・ 出水後、放流濁度は流入濁度よりも高くなっているが、30日以上連続して10度を超えることはない。



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

図 2.2.9 丹生ダム水質計算結果 (濁度：1990～1994年)

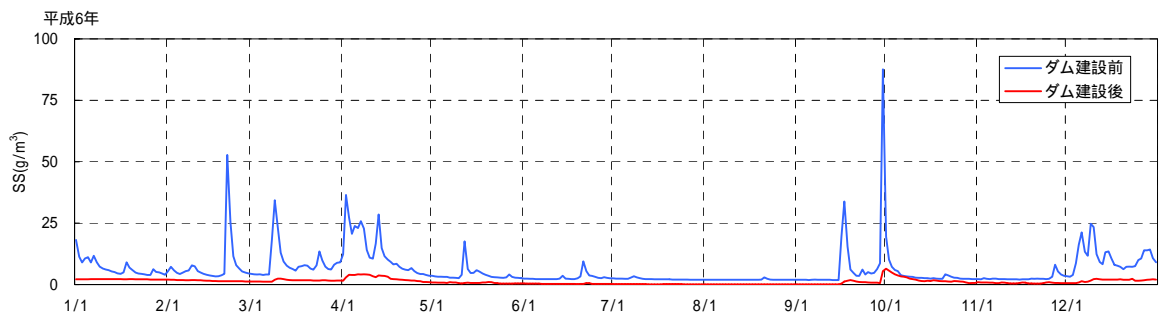
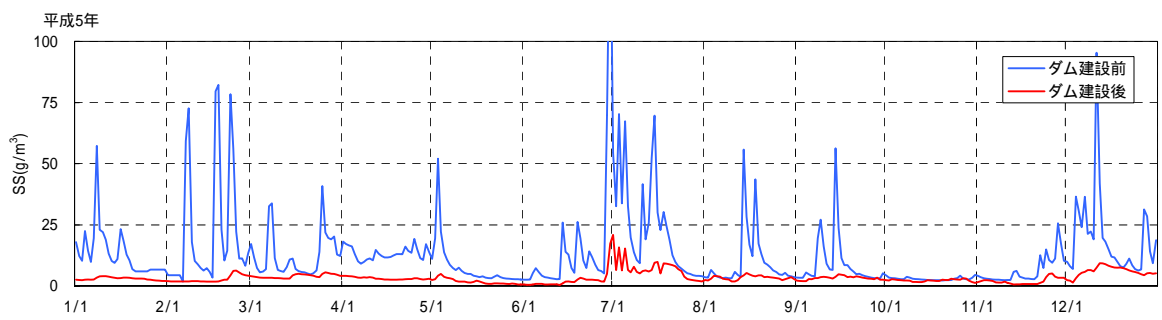
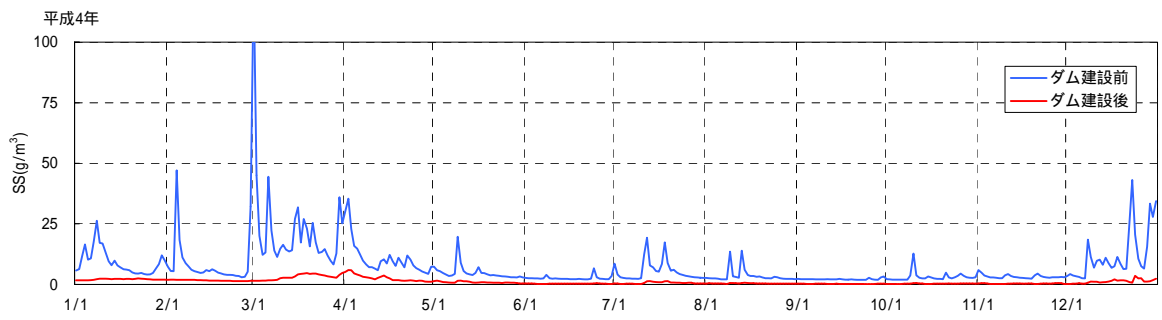
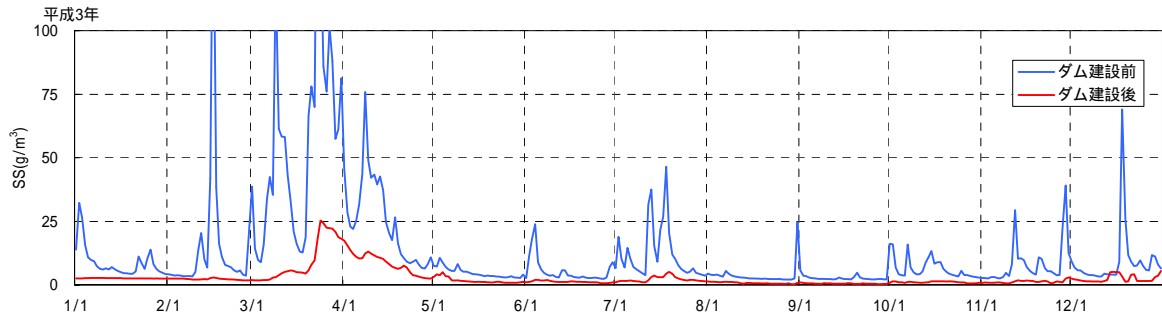
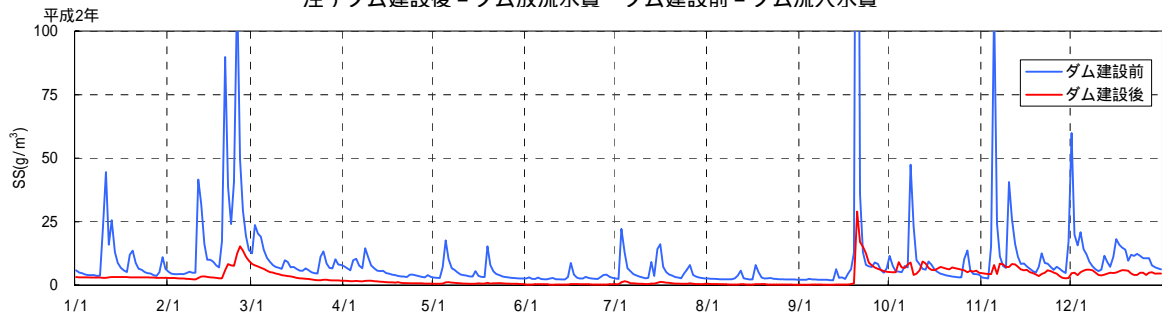
注) ダム建設後 = ダム放流水質　ダム建設前 = ダム流入水質



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.10 丹生ダム水質計算結果 (SS : 1985 ~ 1989 年)

注) ダム建設後 = ダム放流水質 ダム建設前 = ダム流入水質



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.11 丹生ダム水質計算結果 (SS: 1990~1994年)

・対策：選択取水設備

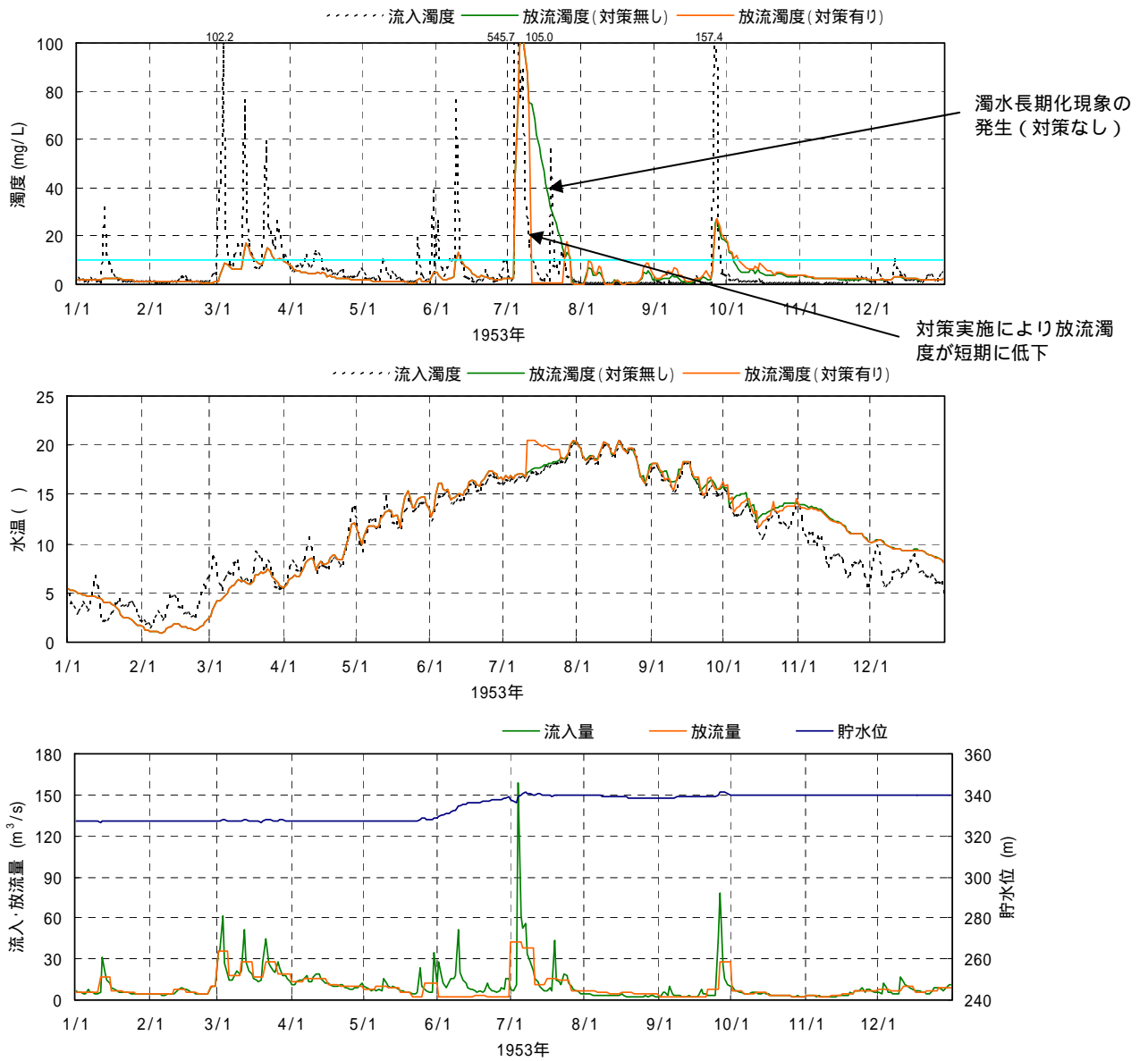


図 2.2.12 既往最大出水時における対策実施による放流濁度の変化

富栄養化現象について

丹生ダムによる貯留によってCODや窒素濃度は流入水質よりもやや濃度が高くなるが、リンは反対に濃度が低下する予測結果となった。COD濃度の上昇原因については、植物プランクトンの増殖による内部生産の影響によるものと思われるが、その上昇の程度は比較的小さい。(図 2.2.13~2.2.26 参照)

また、植物プランクトンの増殖の程度およびそれに伴う貯水池の水質変化は、各年の流況や気象条件によって変化するが、水質予測結果による限りさほど大きな増殖は示さず、富栄養化判定基準の中栄養(クロロフィルa:年平均値=8µg/L、年最大値=25µg/L)を超えることはない。同様に、リンについても富栄養化判定基準の中栄養(T-P=0.025mg/L)を超えることはない。窒素については、年によって富栄養化判定基準の中栄養(T-N=0.5mg/L)を超える場合があるが、その年において植物プランクトンが著しく増殖することはない。

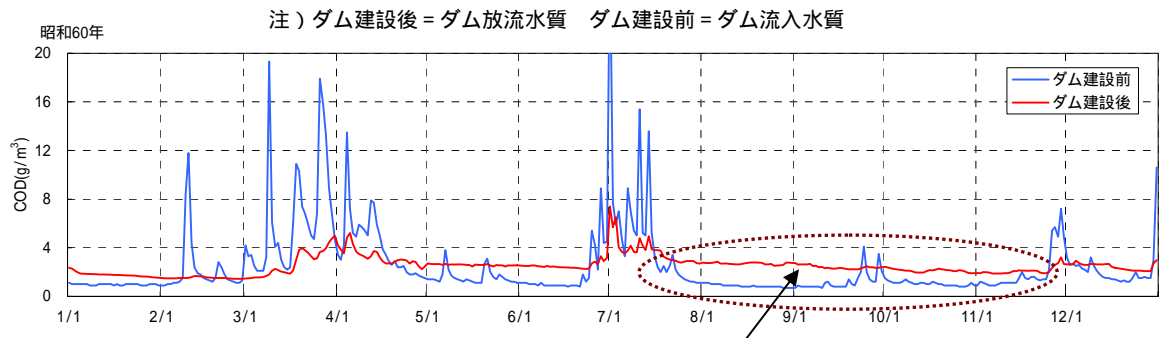
表 2.2.4 富栄養化判定基準

項目	貧栄養	中栄養	富栄養	提案者等
T - P (mg/L)	0.002 ~ 0.020	0.010 ~ 0.030	0.010 ~ 0.090	坂本 1966
	< 0.010	0.010 ~ 0.035	0.010 ~ 0.035	OECD
	< 0.015	0.015 ~ 0.025	0.025 ~ 0.100	Forsberg&Ryding 1980
	< 0.015	0.015 ~ 0.025	> 0.025	判定採用値
T - N (mg/L)	0.020 ~ 0.200	0.10 ~ 0.70	0.50 ~ 1.30	坂本 1966
	< 0.40	0.40 ~ 0.60	0.60 ~ 1.50	Forsberg&Ryding 1980
	< 0.20	0.20 ~ 0.50	> 0.50	判定採用値
年平均クロロフィル a (µg/L)	< 2.5	2.5 ~ 8.0	8.0 ~ 25.0	OECD (下限値を採用)
最大クロロフィル a (µg/L)	< 8.0	8.0 ~ 25.0	25.0 ~ 75.0	OECD (下限値を採用)

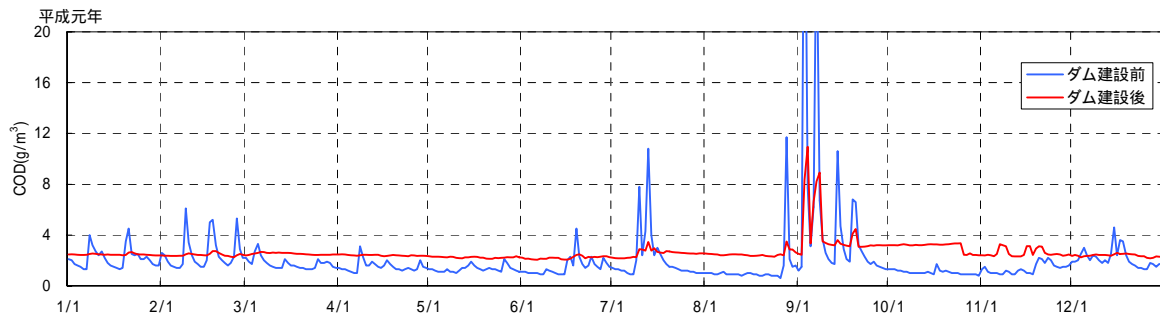
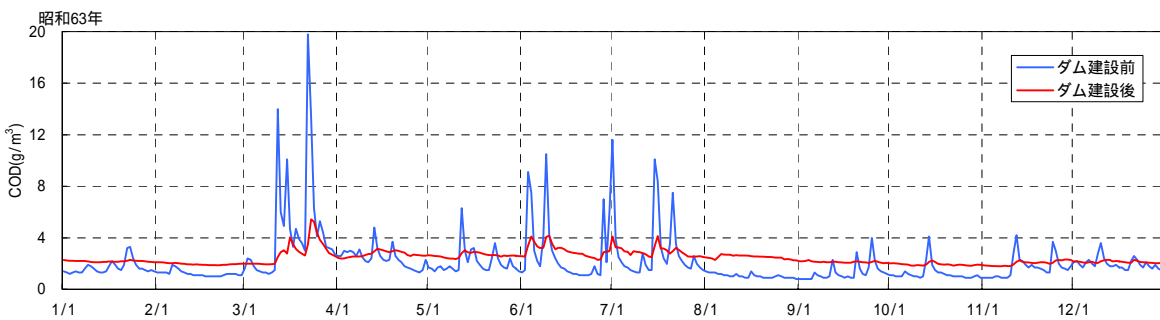
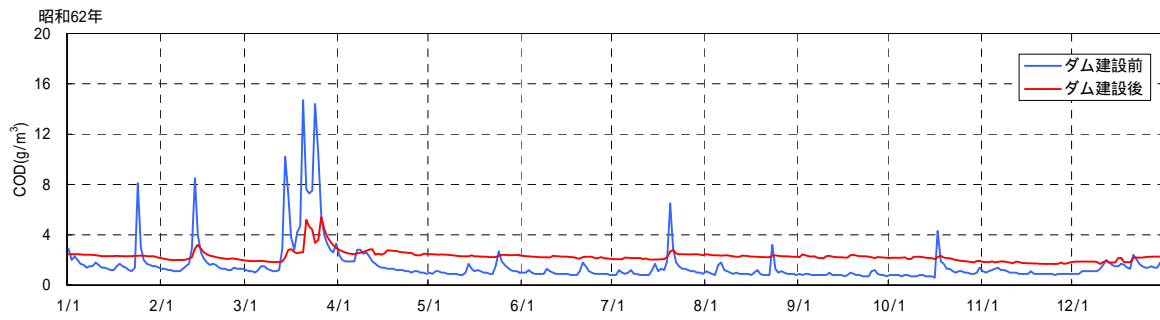
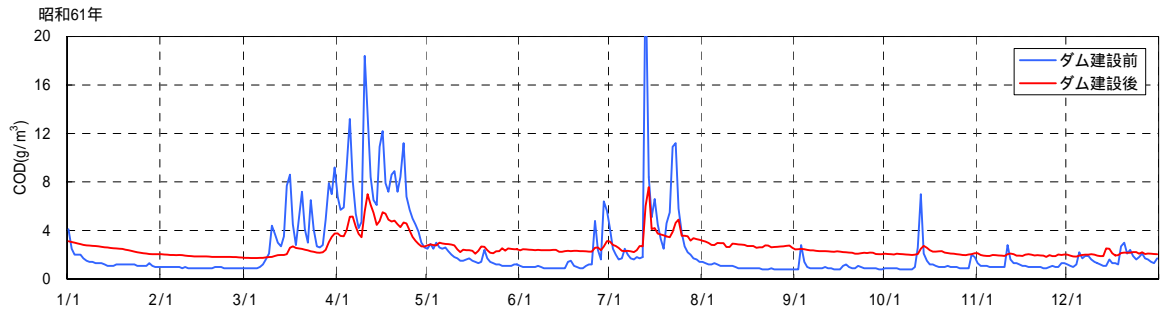
表 2.2.5 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果

年	クロロフィル a		T - N	T - P
	年最大値 (µg/L)	年平均値 (mg/L)	年平均値 (mg/L)	年平均値 (mg/L)
1985	20.2	7.4	0.55	0.017
1986	20.3	7.4	0.54	0.017
1987	19.7	7.2	0.45	0.014
1988	18.5	9.0	0.49	0.015
1989	15.8	9.0	0.51	0.016
1990	15.8	7.5	0.49	0.014
1991	21.0	7.9	0.51	0.016
1992	18.1	6.5	0.44	0.013
1993	18.2	8.3	0.51	0.016
1994	17.1	6.3	0.45	0.013

注) : 表 2.2.4 に示す富栄養化判定基準の中栄養を超える(富栄養と判定される)場合を示す。



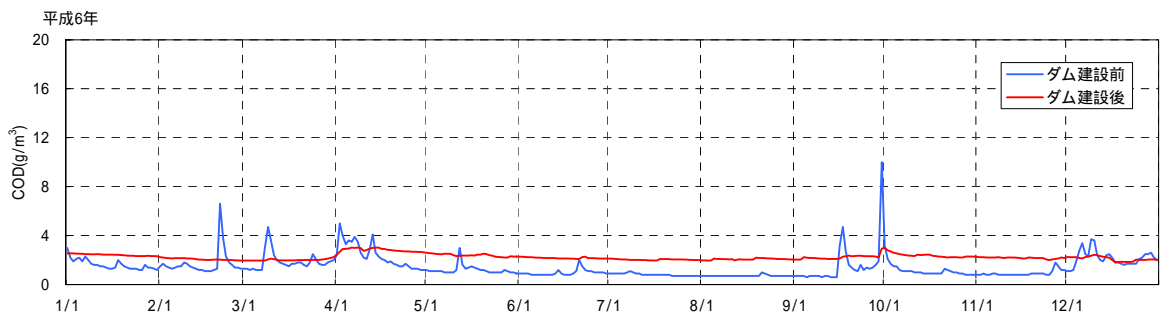
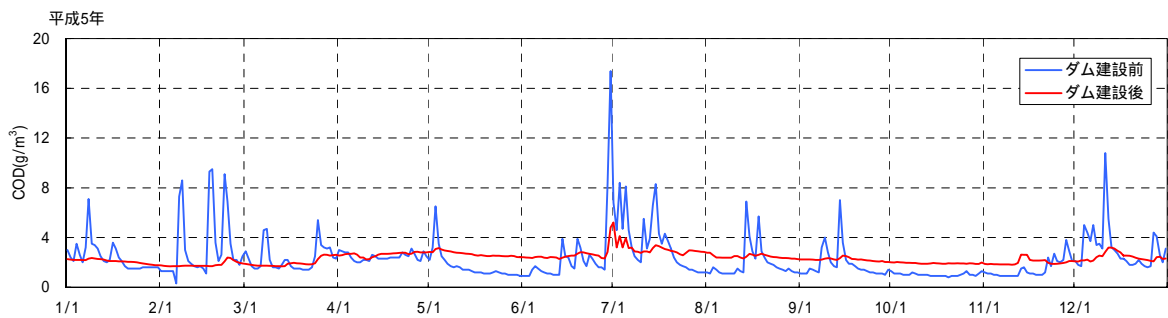
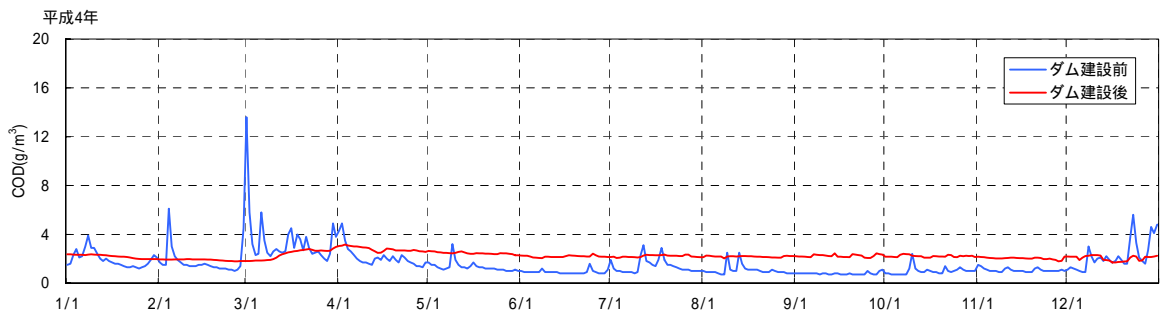
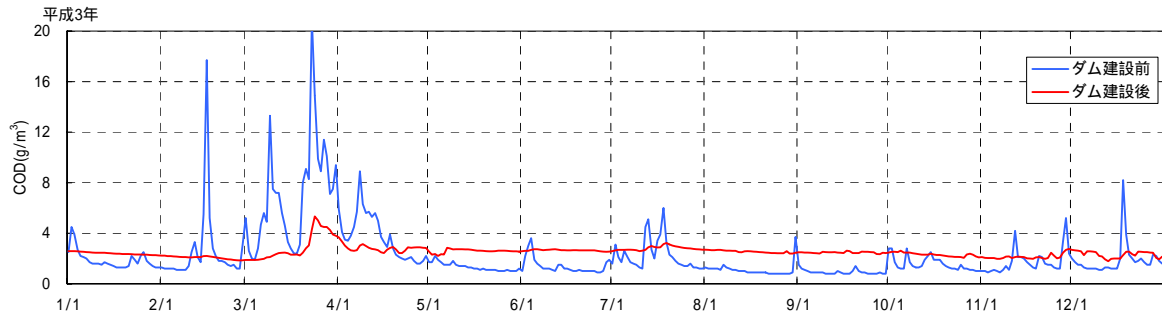
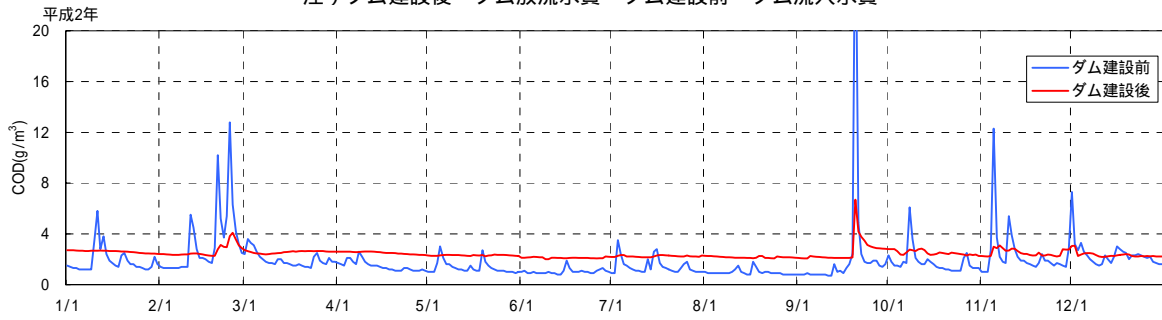
平常時は放流水質がやや高くなる。全体としては放流水質は安定化する傾向



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

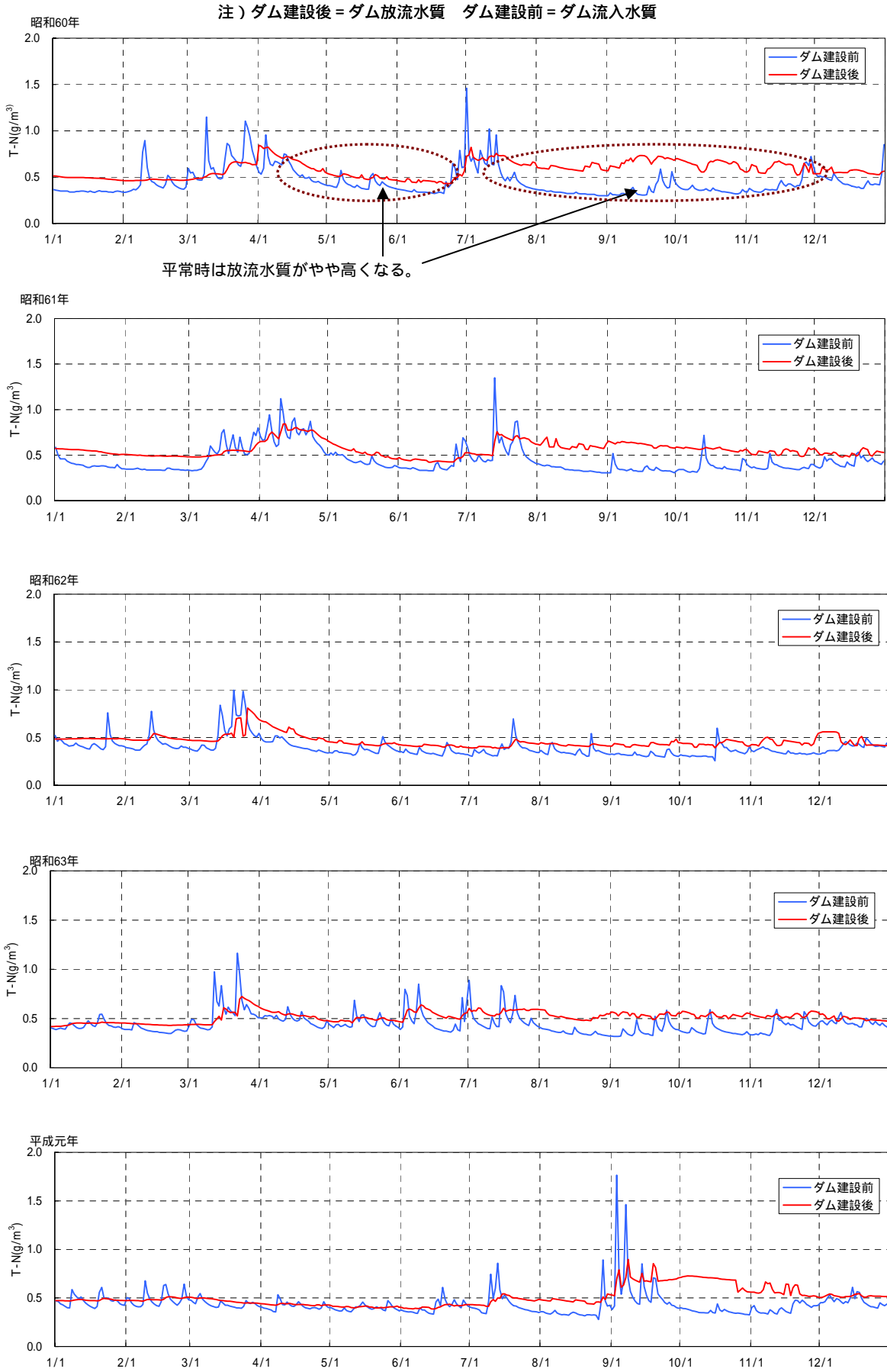
図 2.2.13 丹生ダム建設後の放流水質予測結果 (COD: 1985 ~ 1989年)

注) ダム建設後 = ダム放流水質 ダム建設前 = ダム流入水質



注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

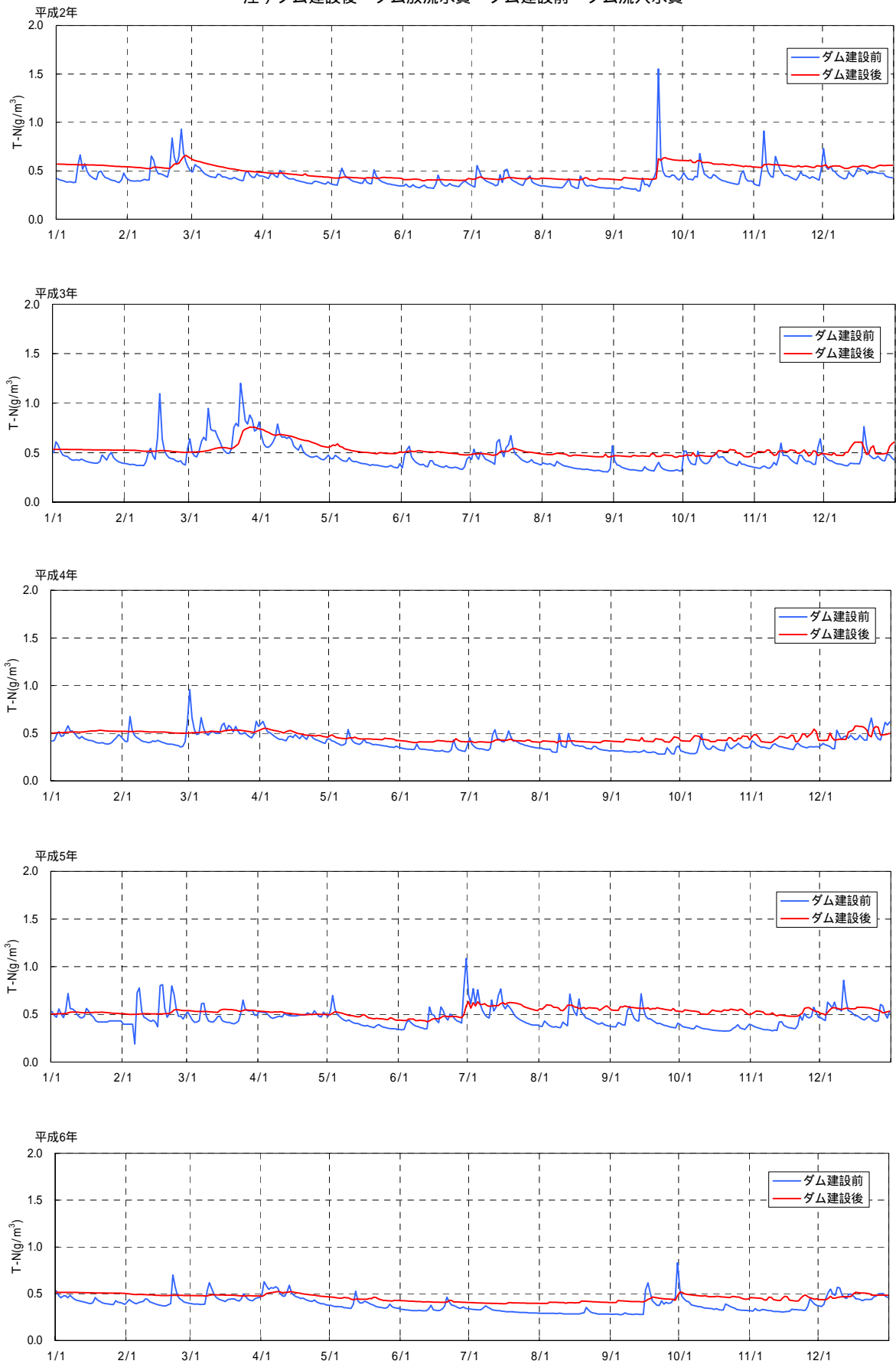
図 2.2.14 丹生ダム建設後の放流水質予測結果 (COD: 1990~1994年)



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

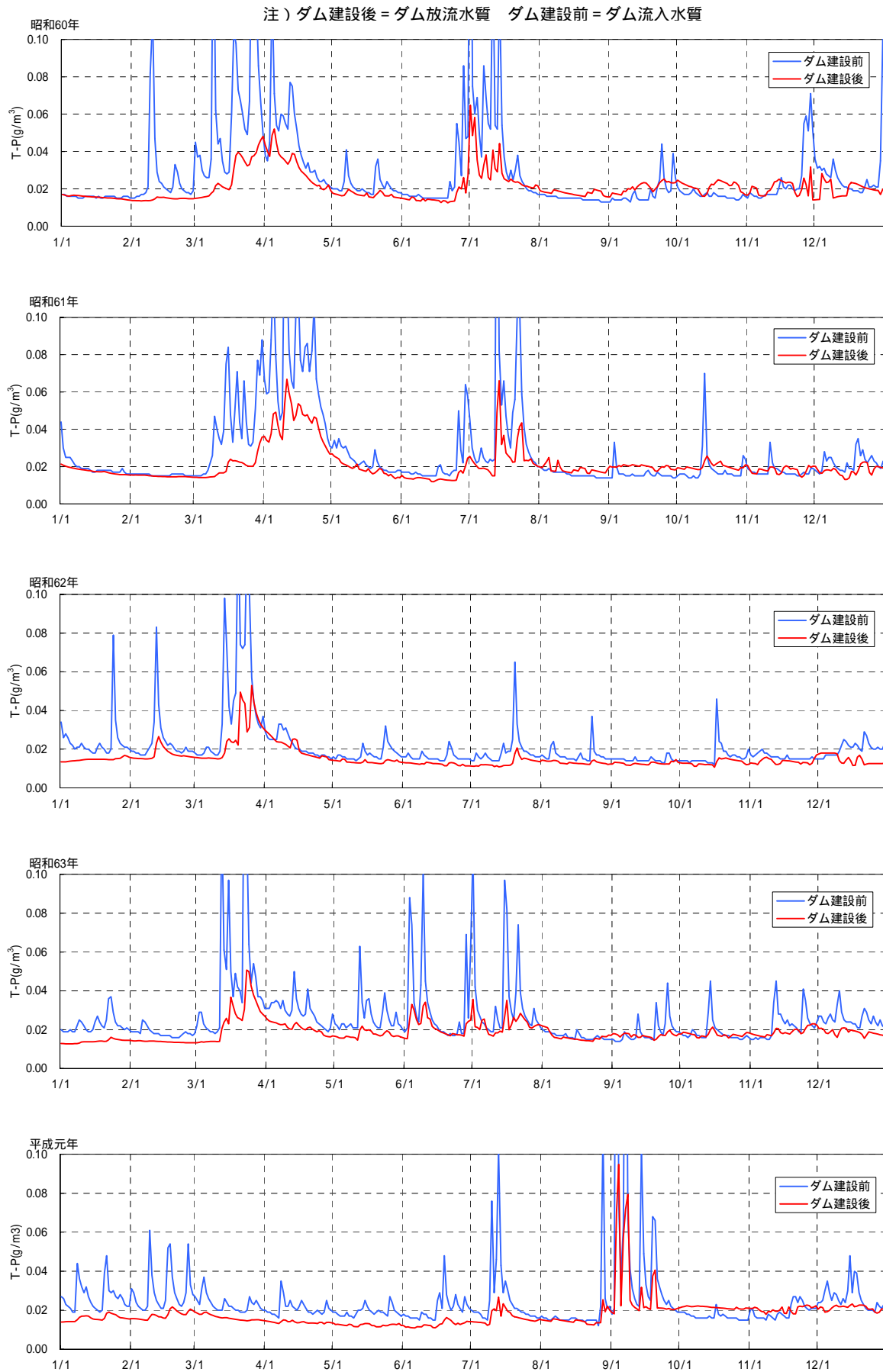
図 2.2.15 丹生ダム建設後の放流水質予測結果 (総窒素：1985～1989年)

注) ダム建設後 = ダム放流水質　ダム建設前 = ダム流入水質



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

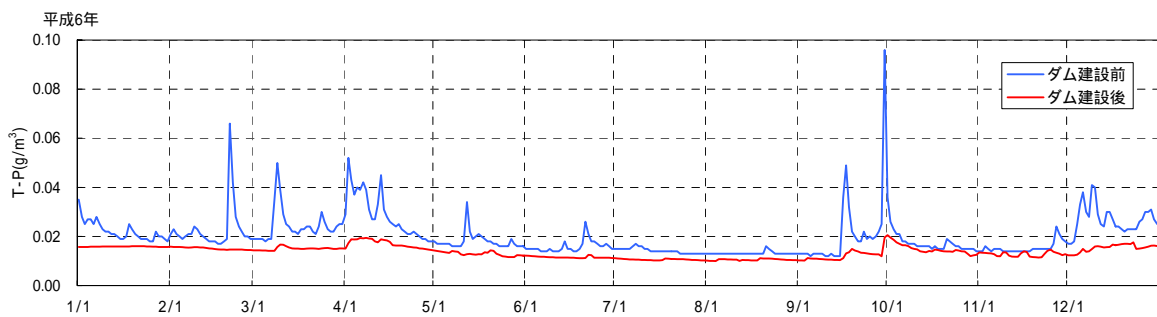
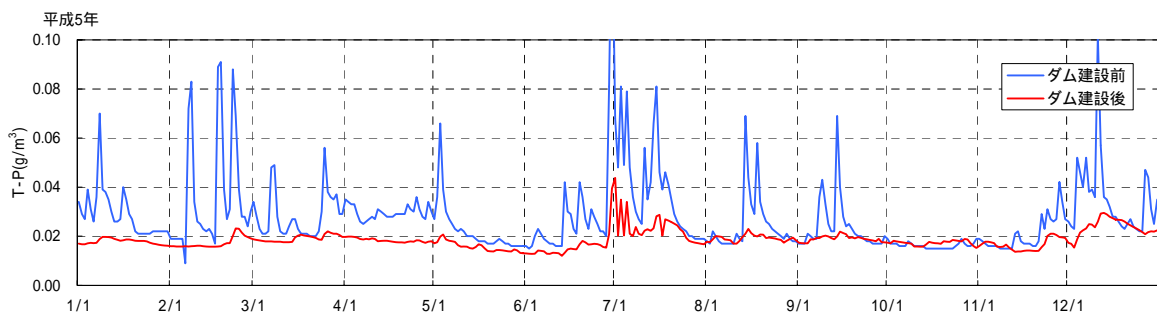
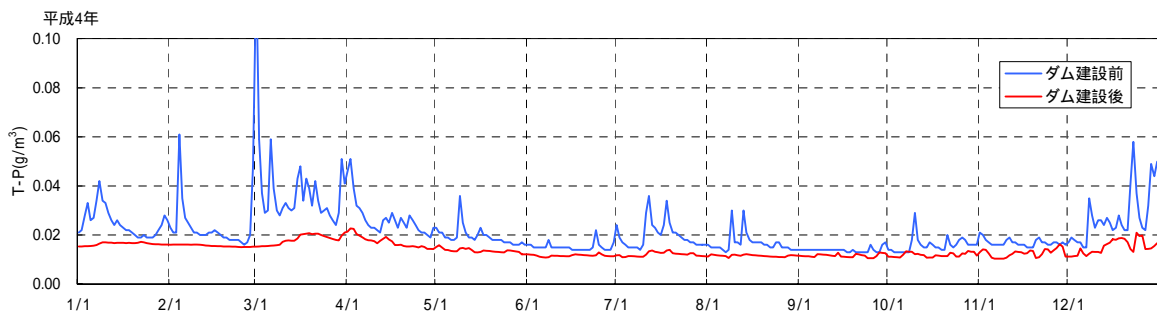
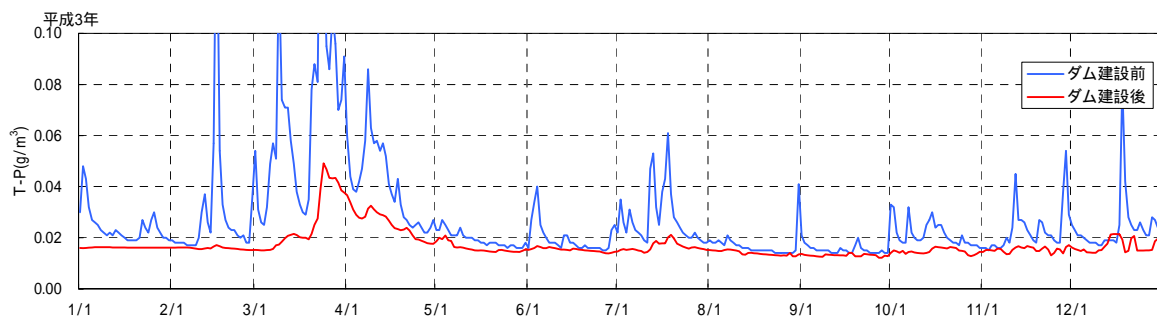
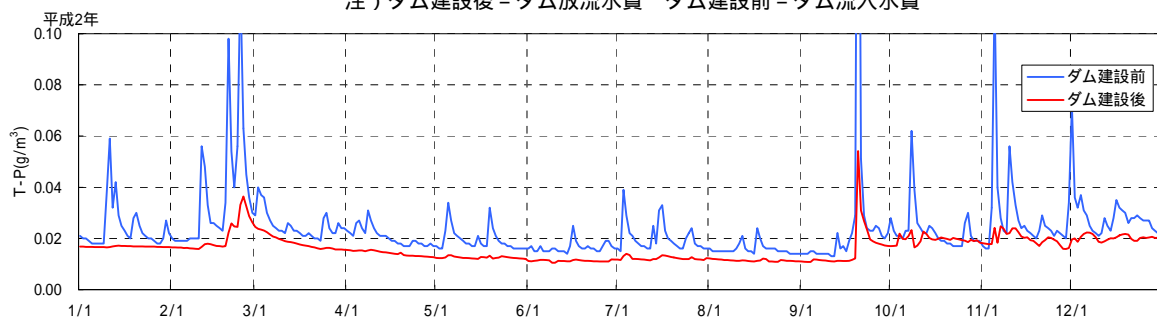
図 2.2.16 丹生ダム建設後の放流水質予測結果（総窒素：1990～1994年）



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

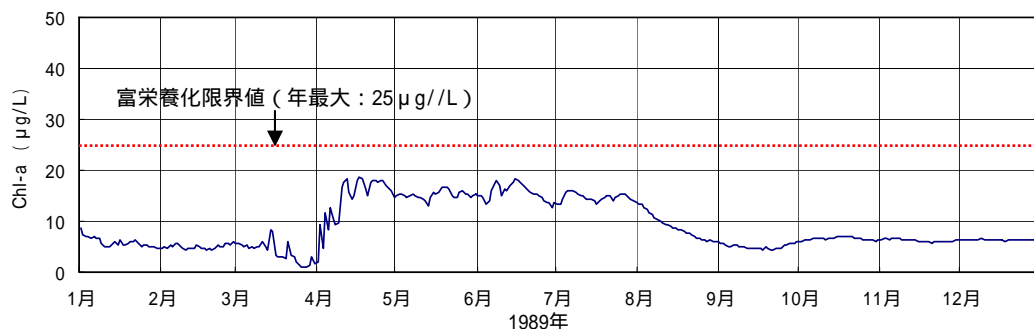
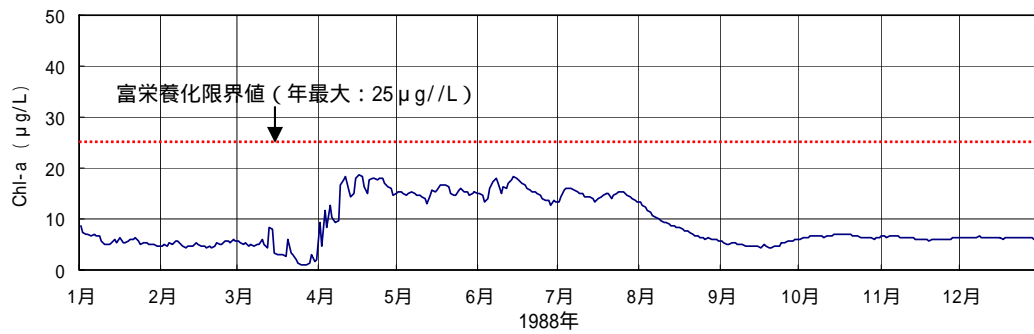
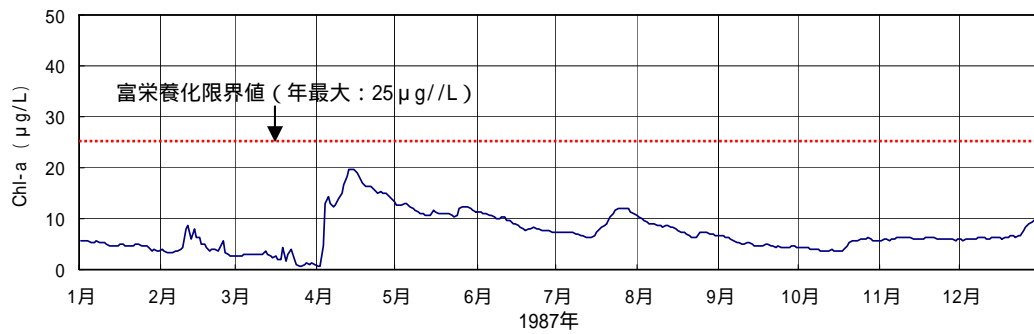
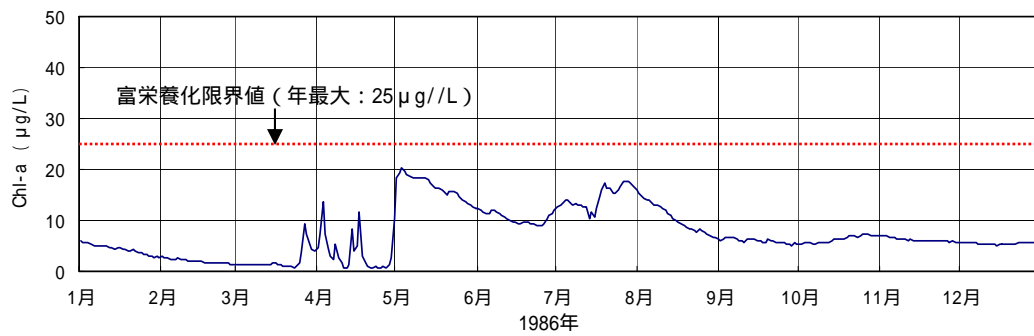
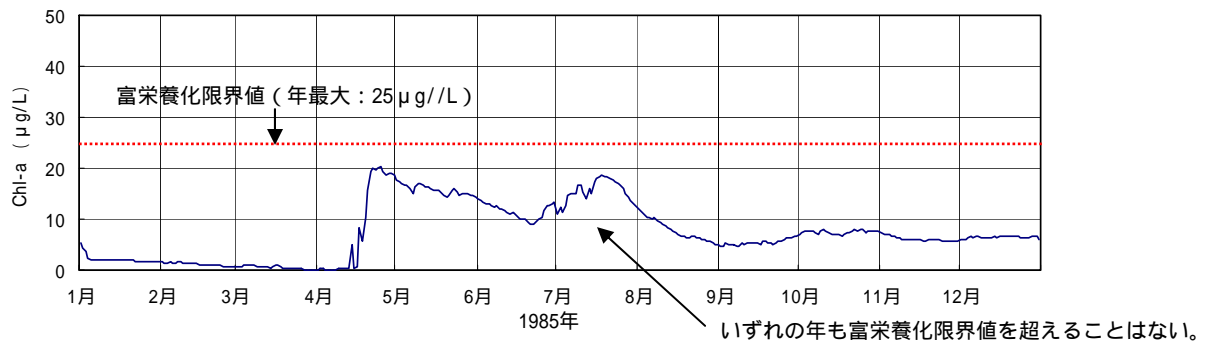
図 2.2.17 丹生ダム建設後の放流水質予測結果（総リン：1985～1989年）

注) ダム建設後 = ダム放流水質 ダム建設前 = ダム流入水質



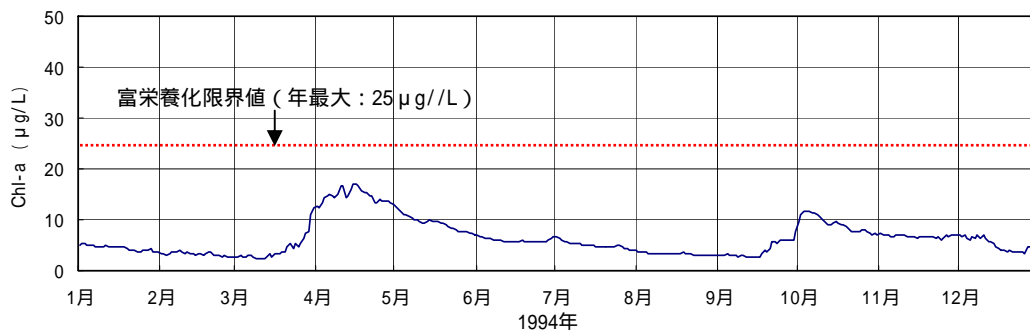
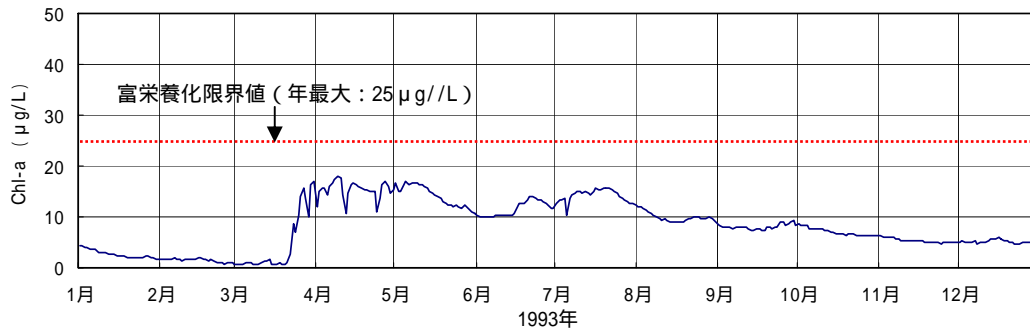
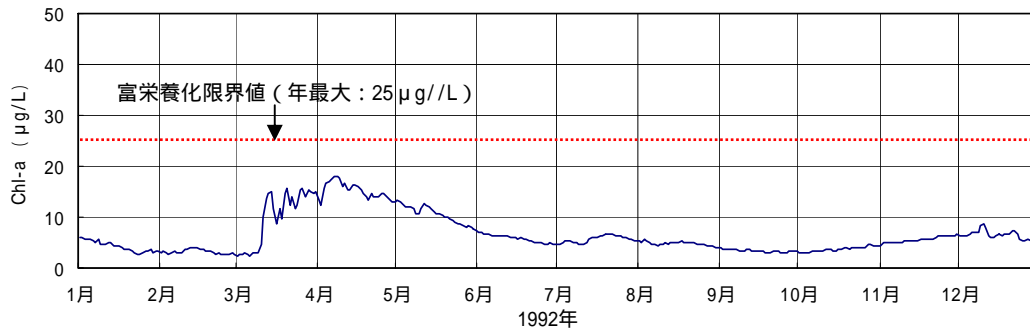
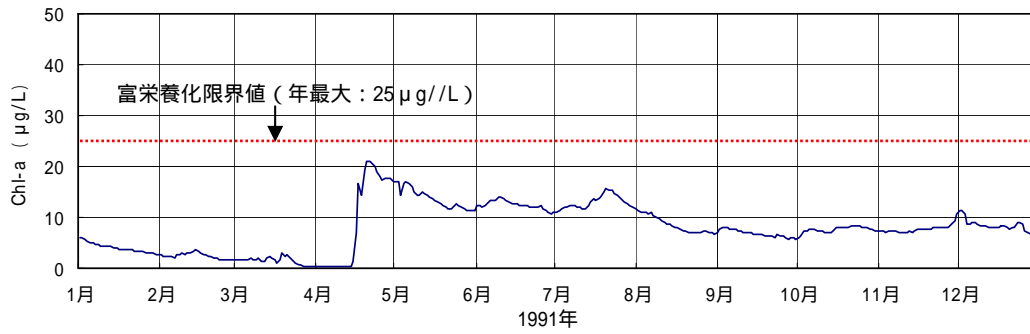
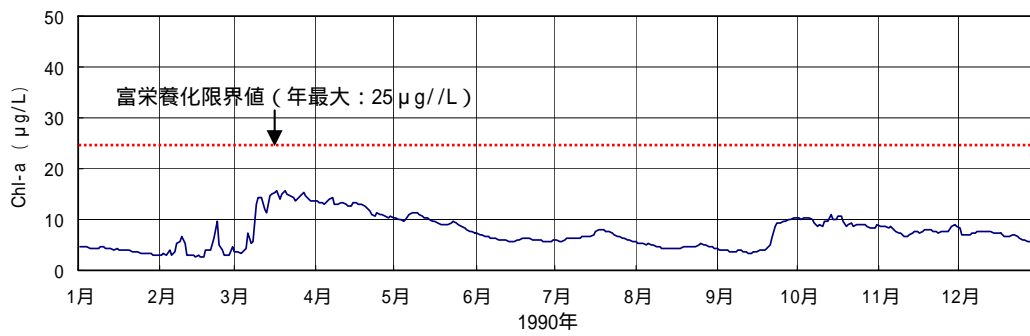
注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.18 丹生ダム建設後の放流水質予測結果 (総リン: 1990 ~ 1994 年)



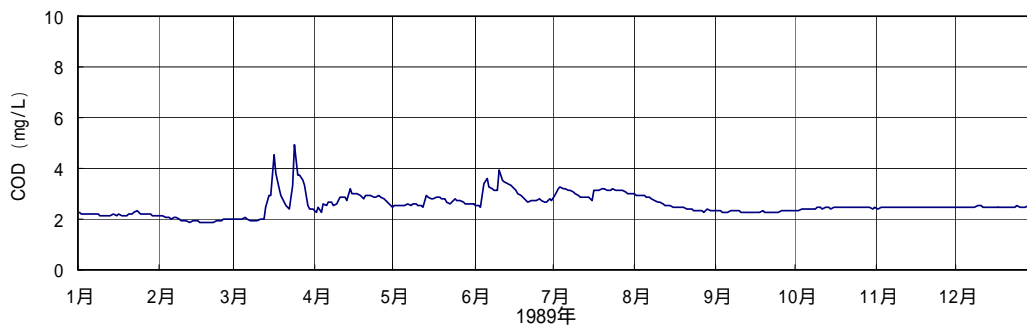
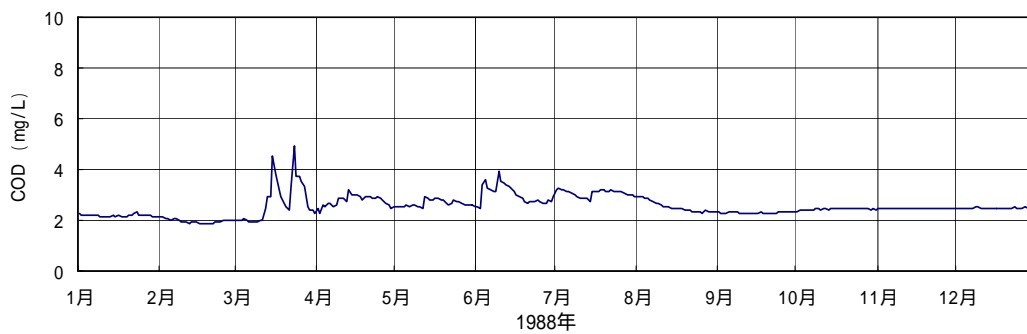
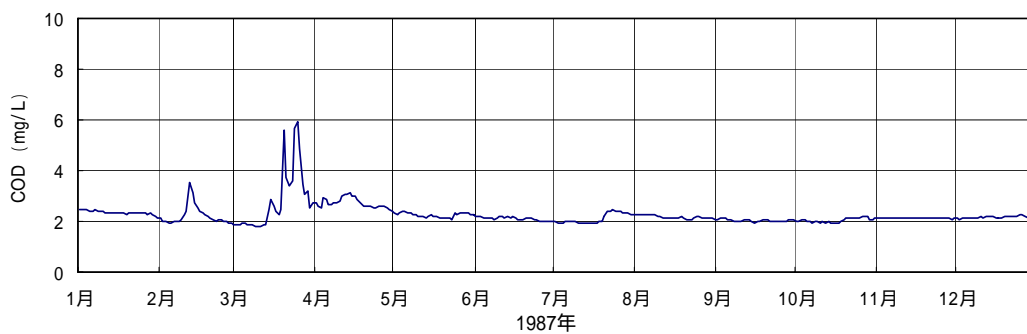
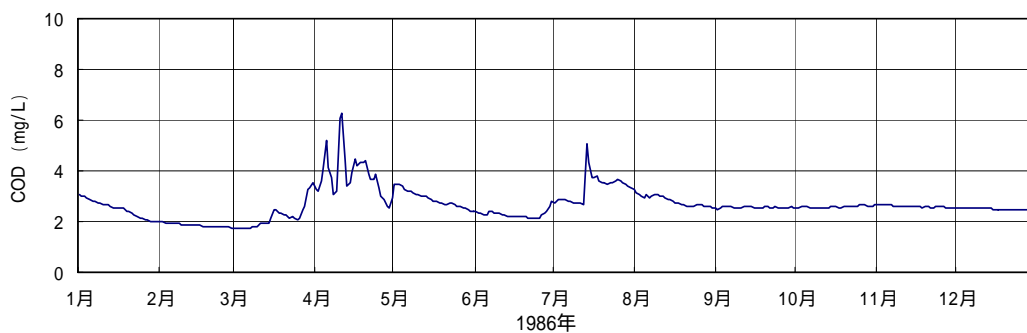
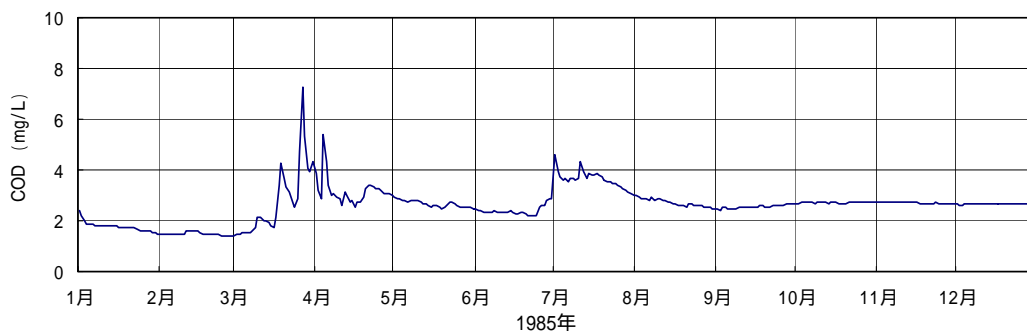
注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.19 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (クロロフィル a : 1985 ~ 1989 年)



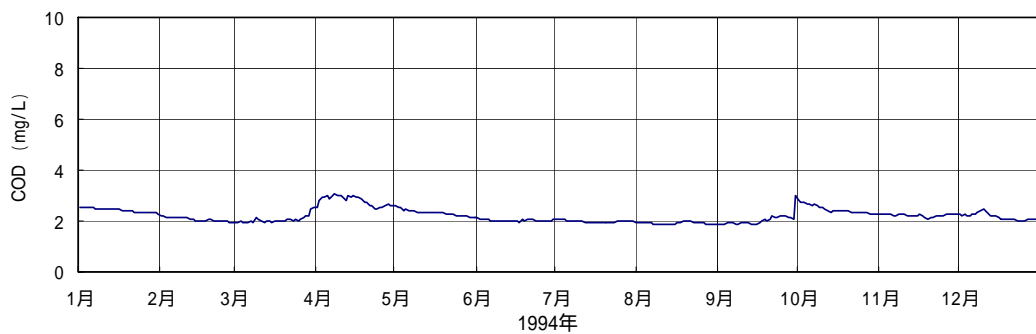
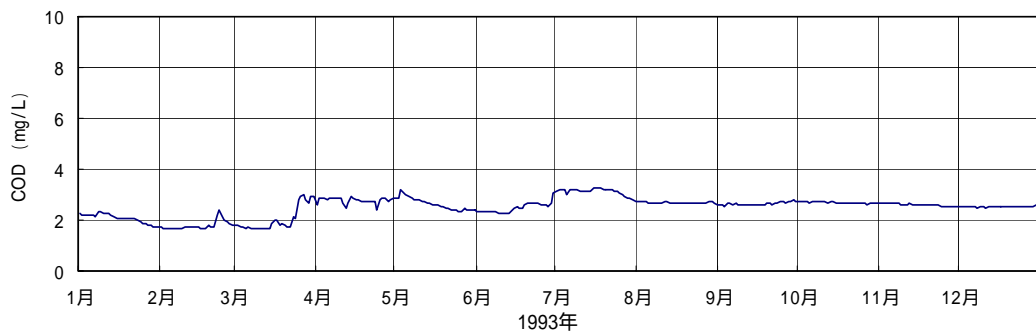
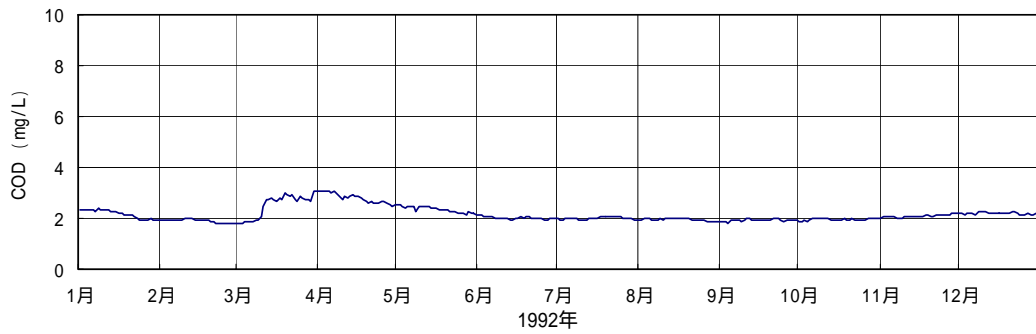
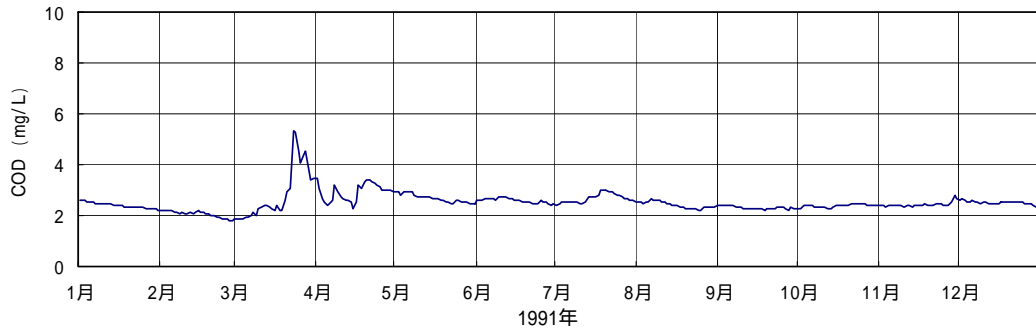
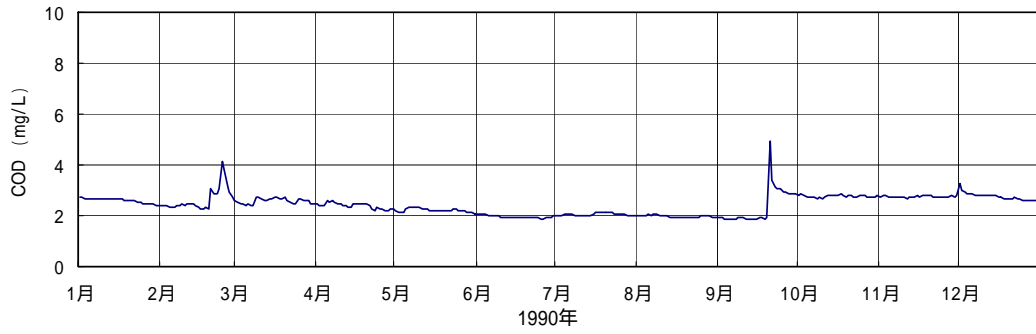
注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.20 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (クロロフィル a : 1990 ~ 1994 年)



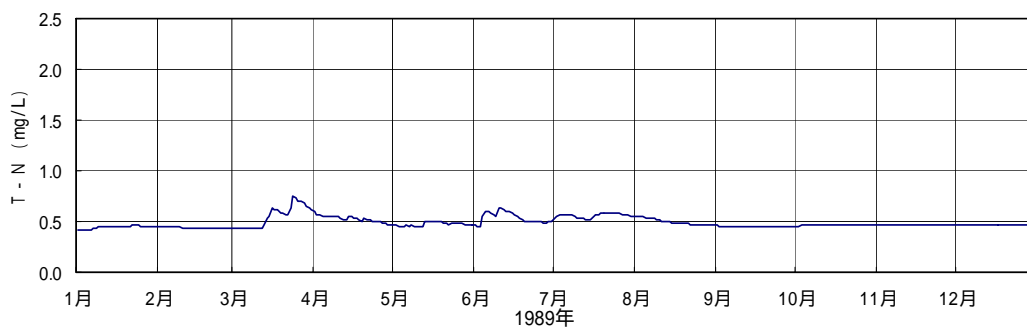
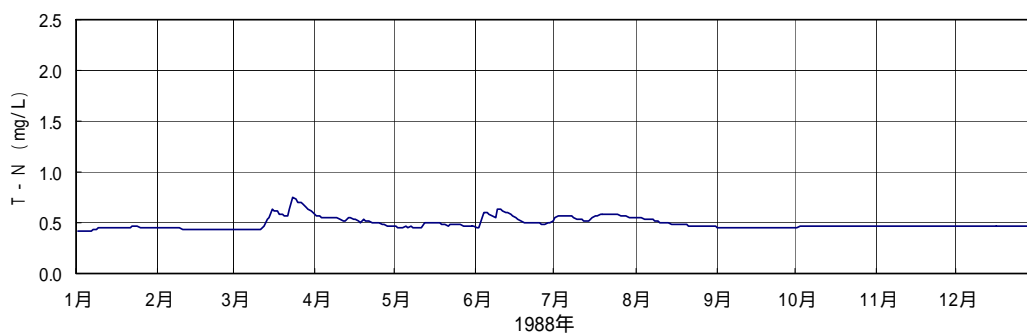
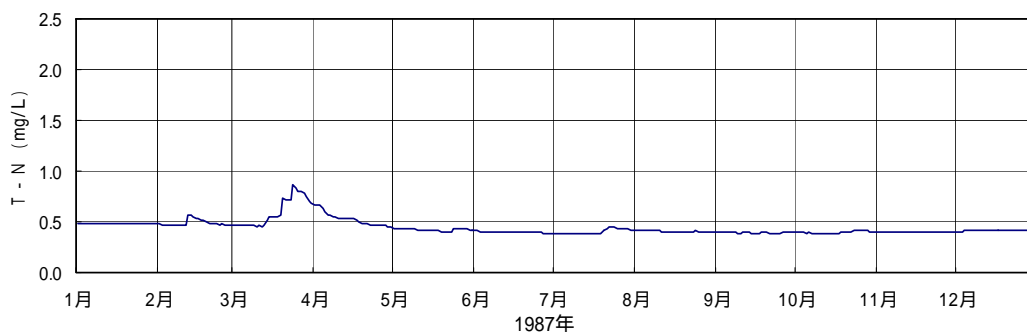
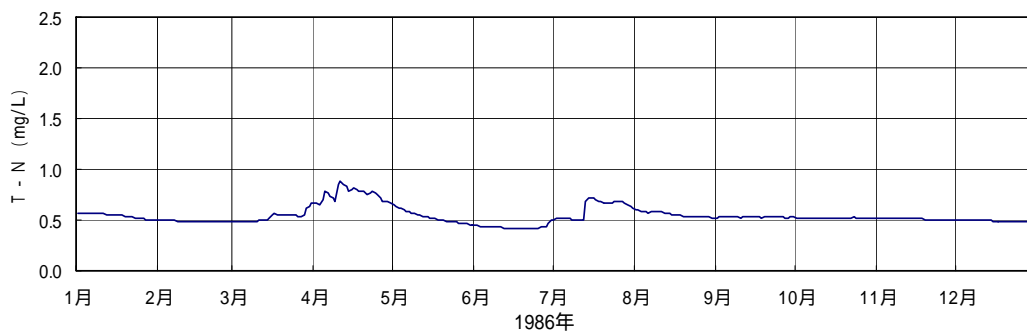
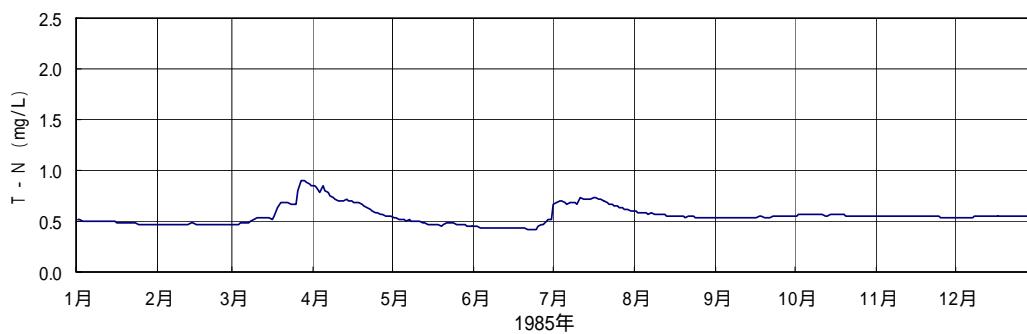
注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.21 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (COD: 1985~1989年)



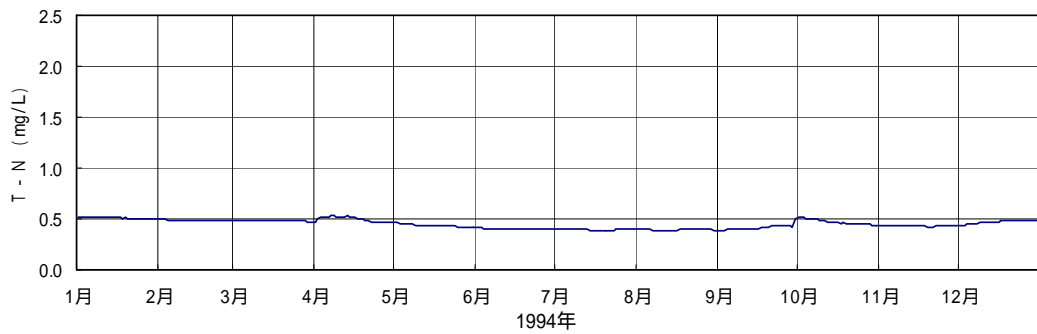
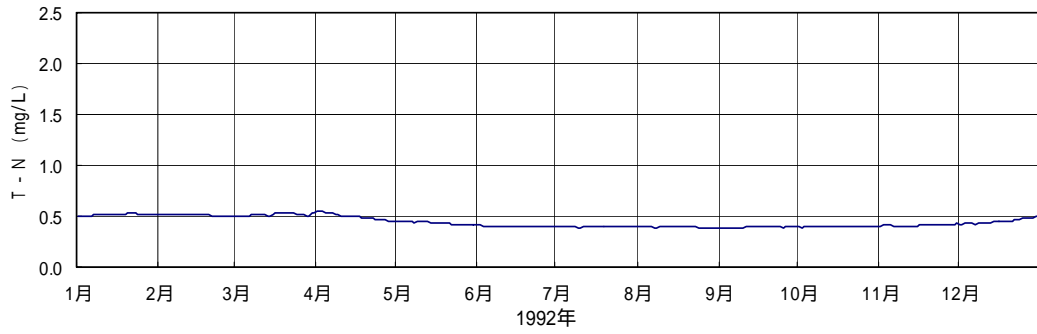
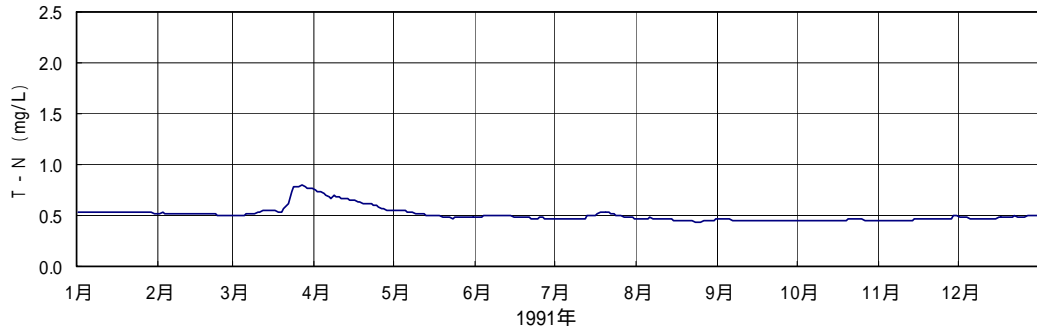
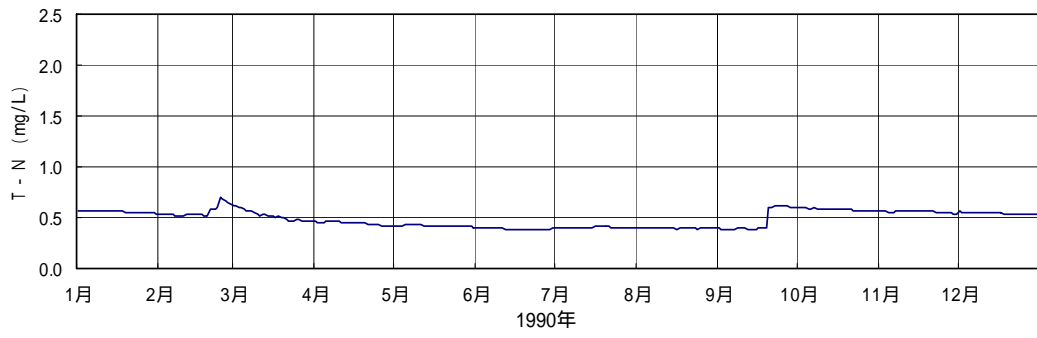
注) 水質保全施設: 選択取水設備のみ

図 2.2.22 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (COD: 1990~1994年)



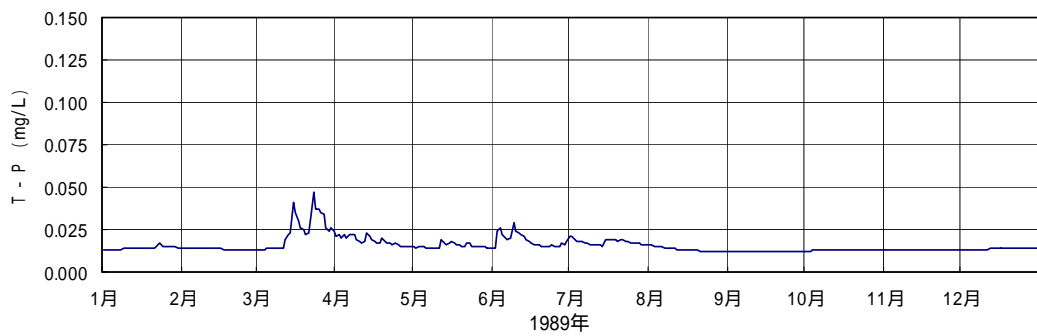
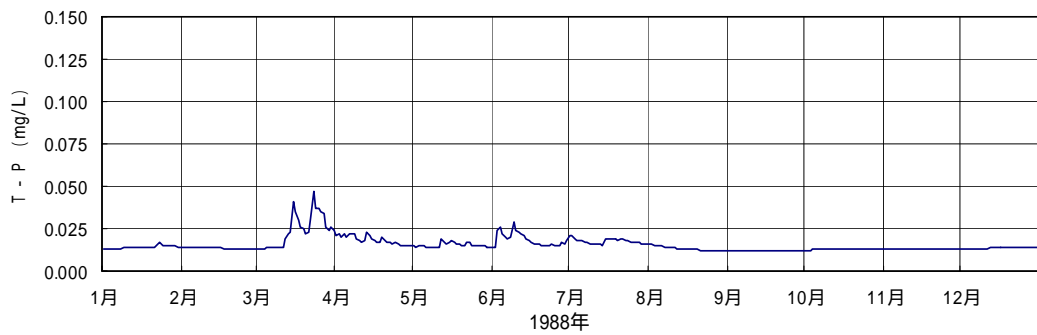
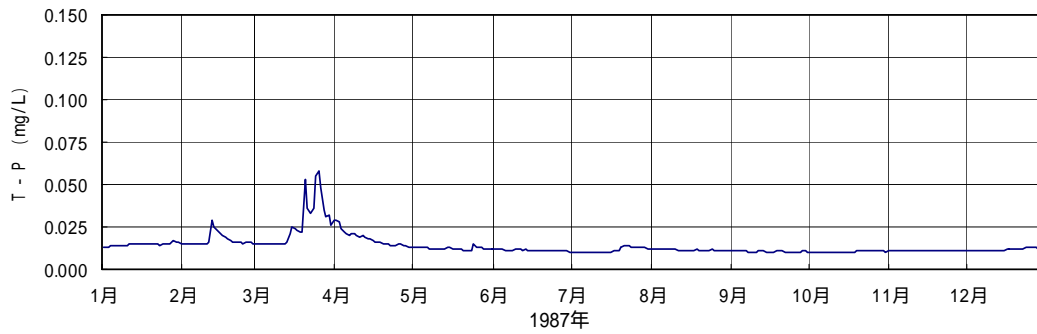
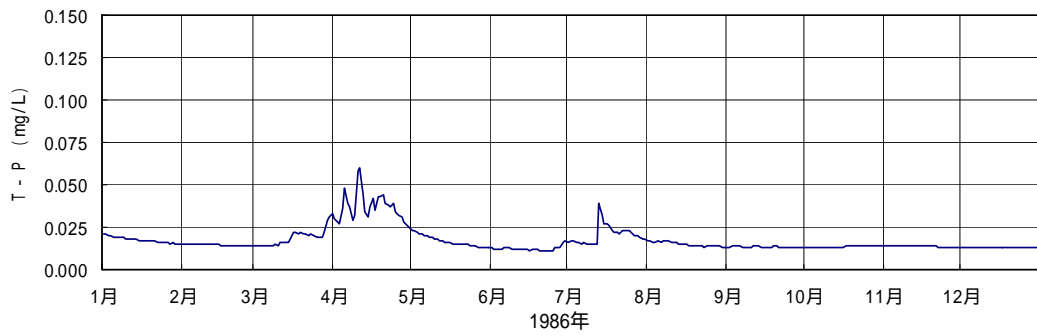
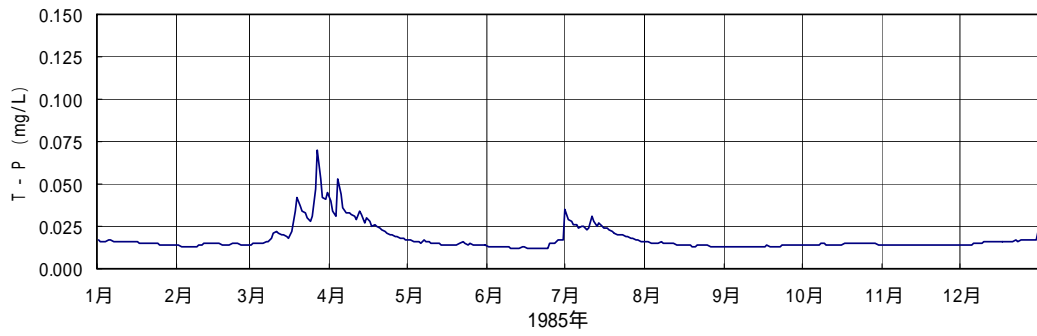
注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

図 2.2.23 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (T - N : 1985 ~ 1989 年)



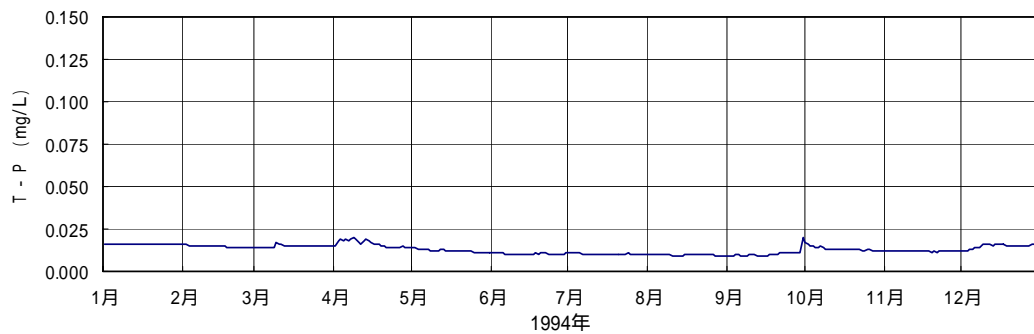
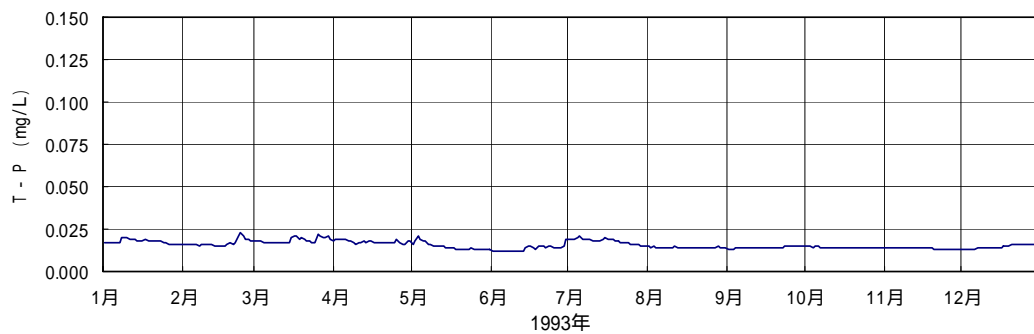
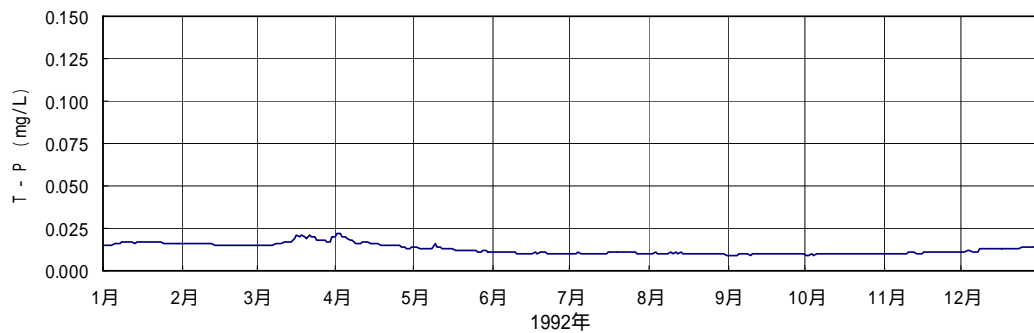
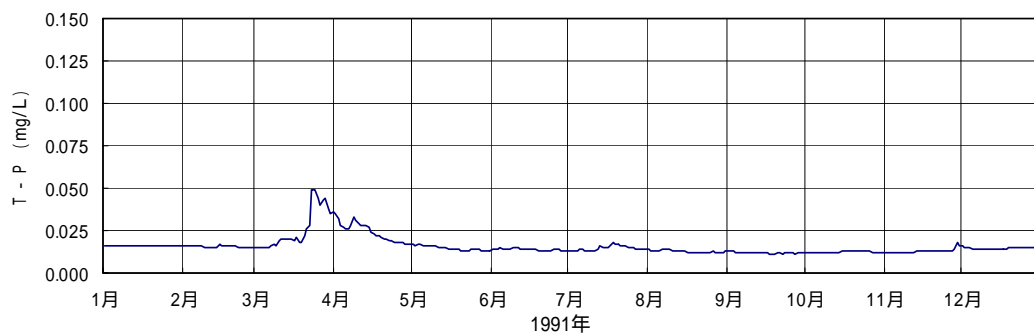
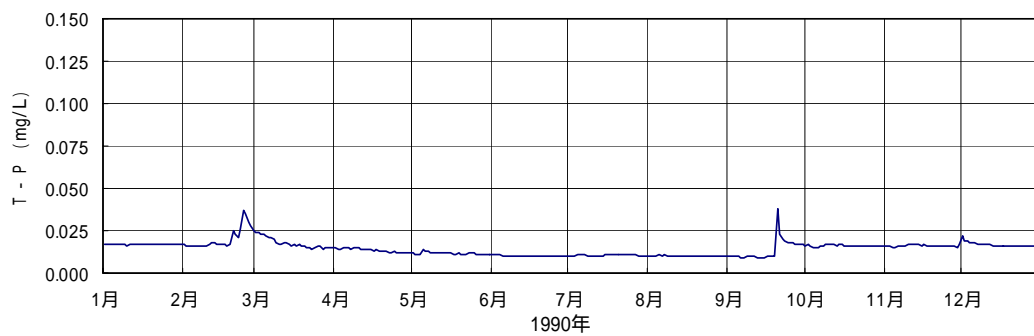
注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

図 2.2.24 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (T - N : 1990 ~ 1994 年)



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

図 2.2.25 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (T - P : 1985 ~ 1989 年)



注) 水質保全施設：選択取水設備のみ

図 2.2.26 丹生ダム貯水池表層水質の予測結果 (T - P : 1990 ~ 1994 年)

(4) 環境放流を実施した場合の貯水池水質予測

冷温水現象について

環境放流（琵琶湖水位低下抑制のための丹生ダムからの放流：50m³/sを最大20日間：約8,600万m³）を実施した場合の冷水問題の発生の可能性について、夏期の丹生ダムからの補給実施日数の最も多い2000年を代表年としてダム放流水温を予想した結果を図2.2.27に示す。

環境放流を実施した場合の丹生ダム放流水温については、環境放流量が多くなる2000年の流況条件においては、7月後半のダムからの補給水の水温は流入水温を下回る場合がある。

これに対処するための方策として曝気循環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運用が可能であることが予測された。（図2.2.32参照）

また、曝気条件によっては秋期以降で流入水温よりも放流水温が高くなる場合があるが、曝気条件を変更することにより放流水温を流入水温と同程度に維持できる結果となった。すなわち、環境放流（約8,600万m³）でも冷温水放流しないことが確認された。今後は、運用も含め曝気循環施設の具体的検討・設計を実施していく。（図2.2.32参照）

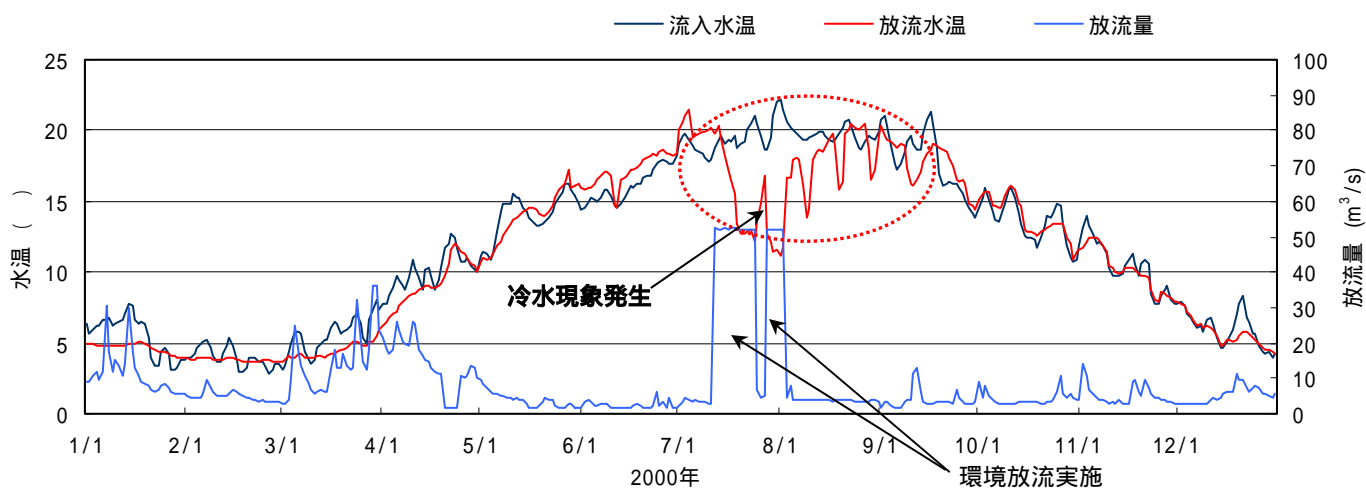


図 2.2.27 丹生ダムにおける水温の予測結果（2000年）

1) 曝気循環設備について

図 2.2.28 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^3 である。これに対し、必要とした環境放流量は 5,660 万 m^3 である。(7 月 24 日時点) 従って、4,560 万 m^3 は 20 よりも低い温度の水を放流してしまうこととなる。

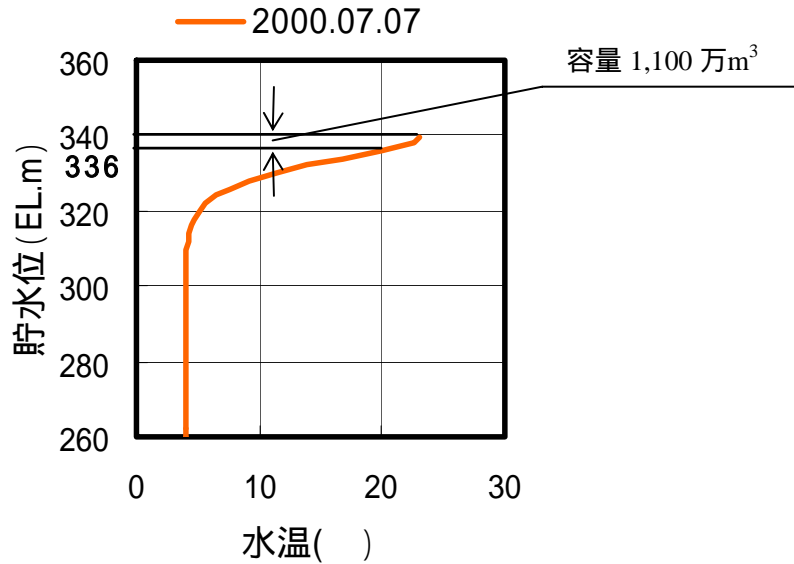


図 2.2.28 貯水池内の鉛直分布 (2000 年 7 月 7 日)

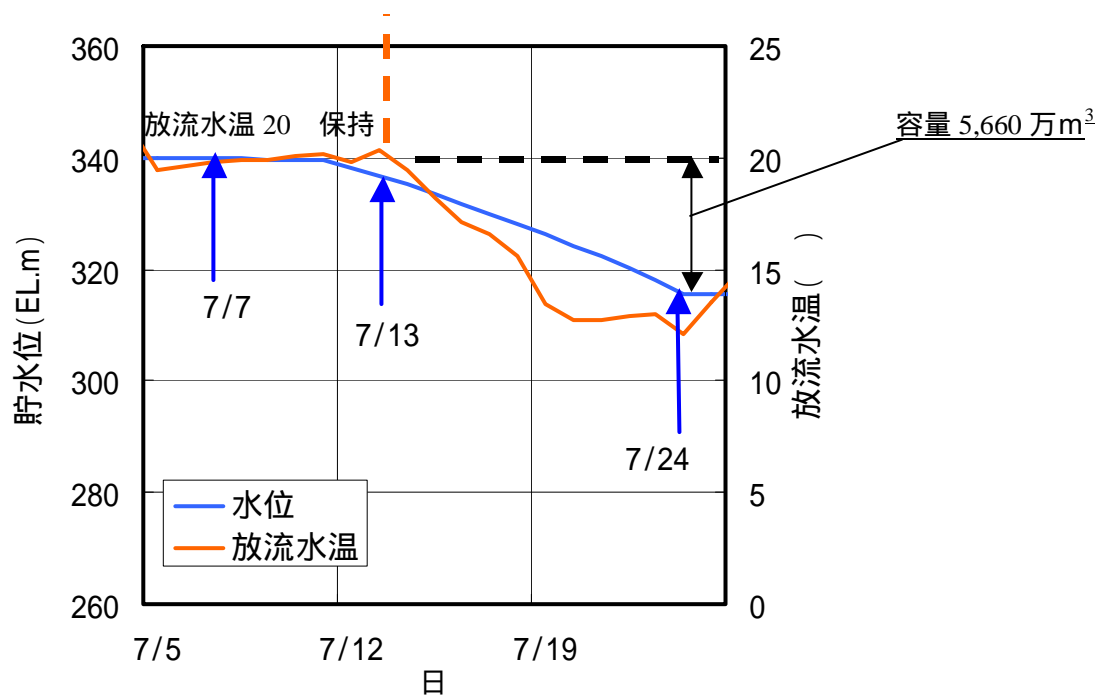


図 2.2.29 放流時の水位と水温変化 (2000 年 7 月：一般的な表層放流を行った場合)

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。

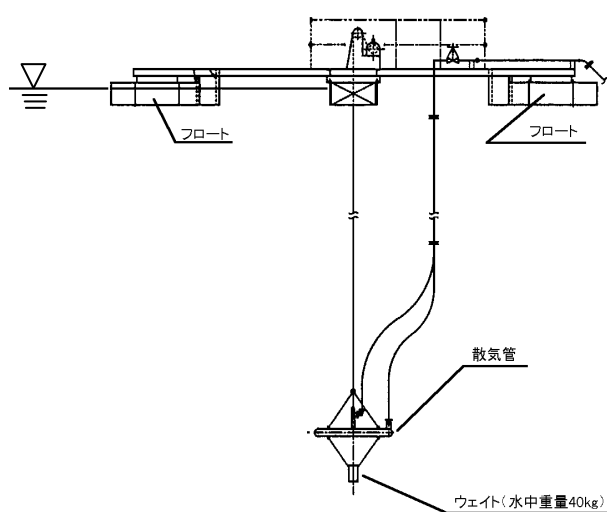


図 2.2.30 曝気装置概要図および曝気装置運転の様子

2) 選択取水設備と曝気装置の運転方法

水質保全対策の評価で採用する選択取水設備と曝気装置の運転方法の概要は次のとおりである。

- ・ 曝気水深は貯水位と月によって位置を変化させる。
- ・ 環境放流時は選択取水は表層取水とする。
- ・ 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）、曝気を停止する。

選択取水設備と曝気設備の関係を表 2.2.6、貯水位と曝気水深（2000年の例）を図 2.2.31 に示す。

表 2.2.6 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

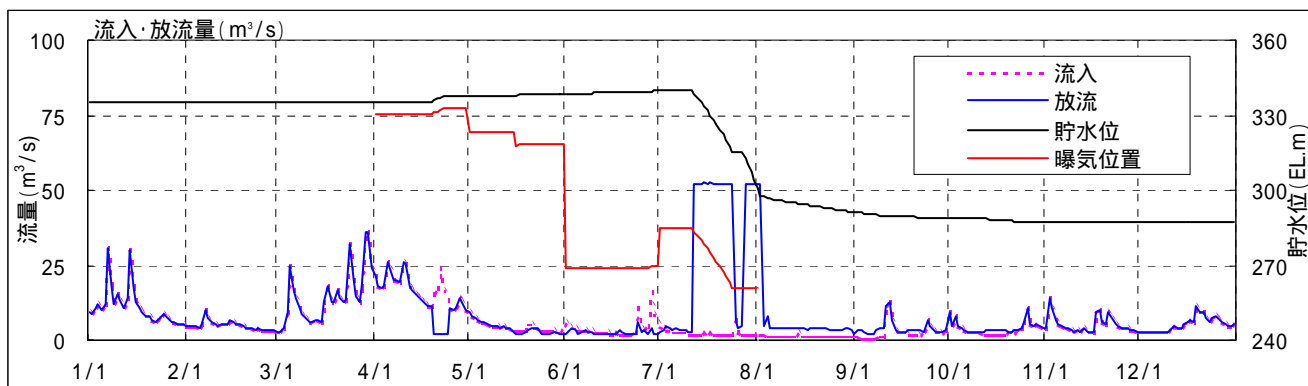


図 2.2.31 貯水位と曝気水深（2000年）

3) 水質保全対策施設運用による効果について

冷水問題改善に対処するための選択取水設備および曝気循環設備の効果を確認するため、現在の琵琶湖水位運用が開始された後の1992年～2002年の11年間を対象とし一次元富栄養化モデルを用いて効果の予測を行った。

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年を代表年として予測結果の一例を図2.2.32に示した。

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確認された。

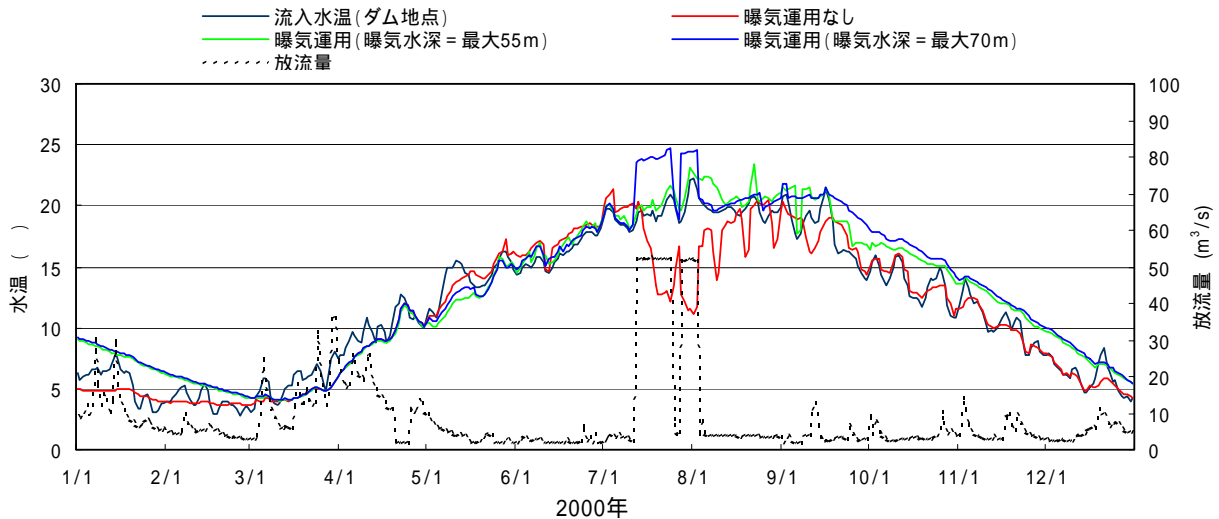


図 2.2.32 選択放流取水設備および曝気循環設備運用による水温の予測結果(2000年)

図 2.2.33 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。

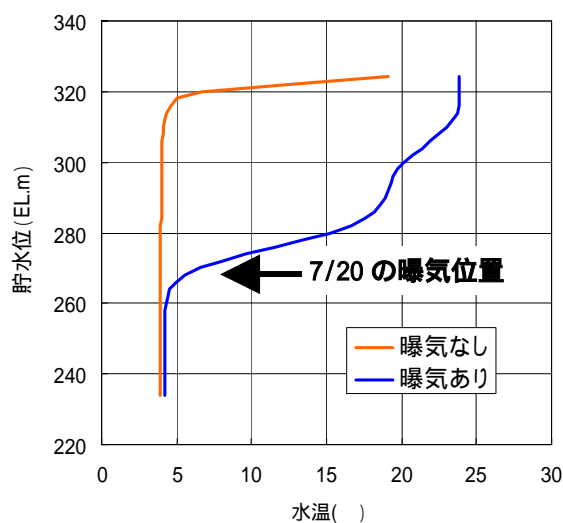


図 2.2.33 曝気による効果を示す水温鉛直分布図(2000年7月20日)

濁水の長期化現象について

濁水の長期化現象発生の可能性については、計算対象期間である 1992 年～2002 年の 11 年間のうち流入濁度のピーク流入濃度が最も高い 2002 年を代表とし、ダム放流濁度を予測した結果を 図 2.2.34 に示した。

環境放流と濁水の長期化現象の関係については、出水後に環境放流を実施する場合に、貯水池内に残存している濁水を下流に放流することが懸念される。2002 年では 7 月中旬に出水があり、その前後で環境放流を行っているが、出水後は貯水池の濁質は速やかに沈降し表層濁度は低くなっている。また、環境放流時は表層から取水することから放流濁度は低く、環境放流によって放流濁度が高くなることはない。仮に大出水があった場合は、濁度が下がるまで環境放流はしないような運用を考えている。

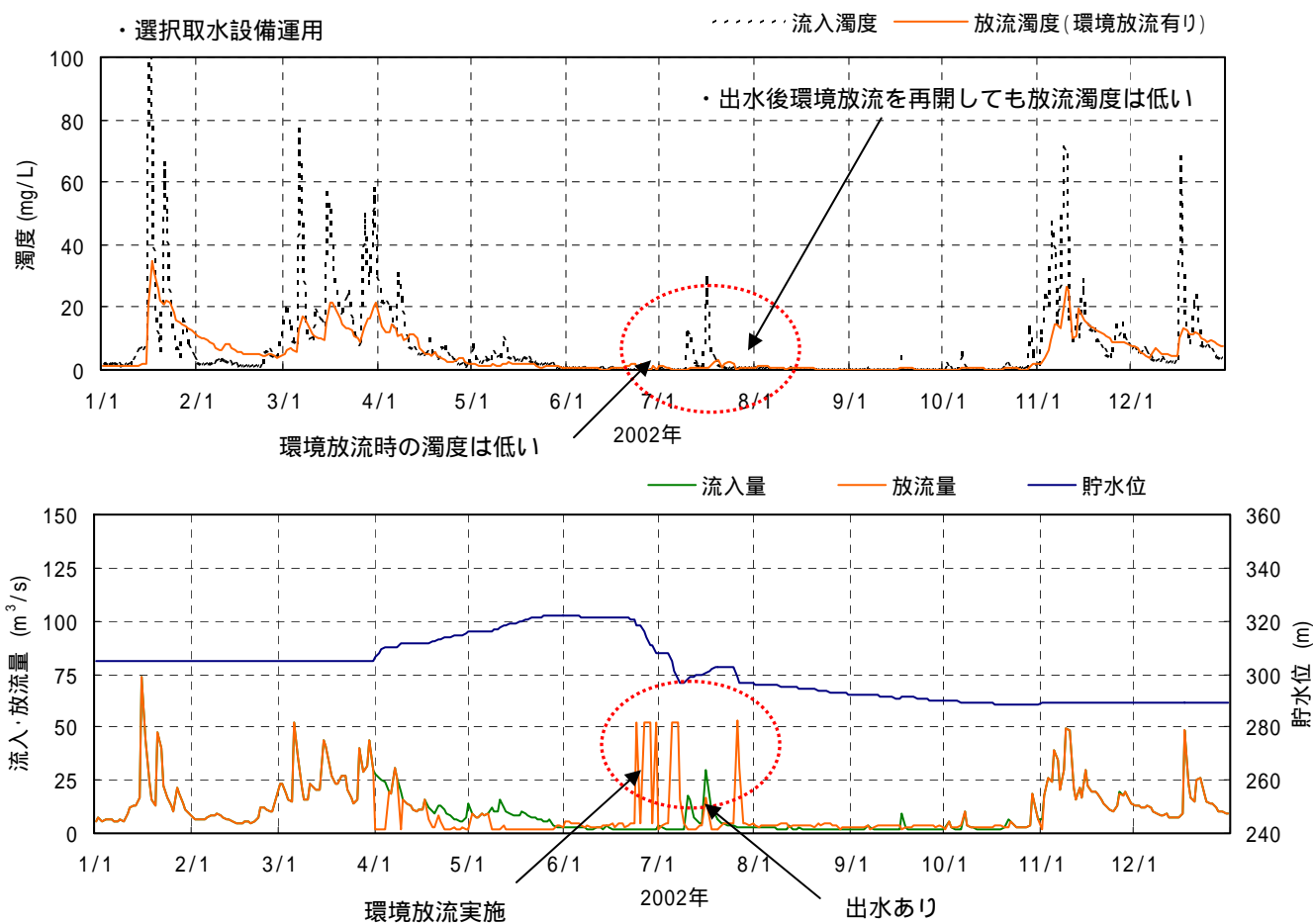


図 2.2.34 丹生ダムにおける環境放流を実施した場合の放流濁度の予測結果 (2002 年)

表 2.2.7 丹生ダム貯水池水質予測計算におけるダム運用条件

項目	運用内容	備考
1. 選択取水設備	<ul style="list-style-type: none"> ・最大放流能力：Q = 50m³/s ・取水可能範囲：表層～EL.270.8m ・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 	
2. 環境放流	<ul style="list-style-type: none"> ・6月16日～8月31日の期間を対象に、琵琶湖水位がBSL-0.2mを下回った場合に環境放流として最大 50m³/sを琵琶湖に補給する 	

表 2.2.8 丹生ダム貯水池水質予測における環境放流実施状況

年	月	初期水位	水位変化	備考
1992	6～8	El.340m	43m	
1993	8	El.344m	2m	
1994	7	El.336m	39m	
1995	-	-	-	環境放流なし
1996	-	-	-	環境放流なし
1997	-	-	-	環境放流なし
1998	-	-	-	環境放流なし
1999	8	El.341m	11m	
2000	7	El.334m	37m	
2001	7	El.315m	18m	
2002	6～8	El.311m	14m	

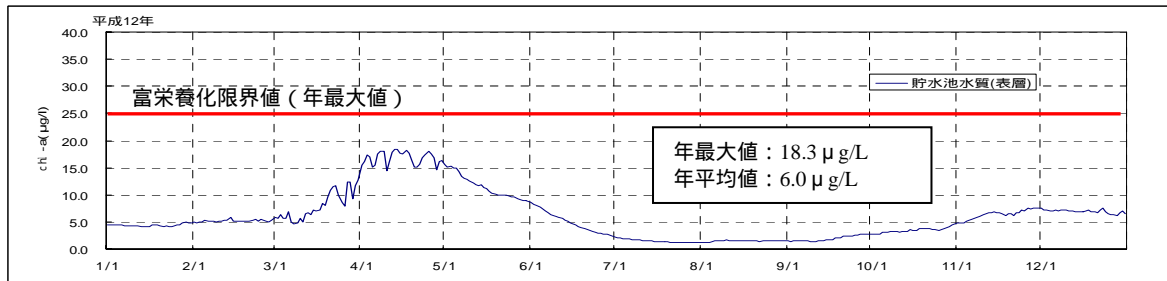
表 2.2.9 計算対象年の丹生ダム流入量の流況（m³/s）

年	最大	豊水	平水	低水	渇水	最小	平均
1992	40.61	8.55	4.79	2.79	1.42	1.13	6.43
1993	51.14	12.40	8.22	4.70	2.51	2.03	9.79
1994	37.50	7.32	4.25	2.19	1.02	0.92	5.54
1995	53.02	11.93	6.20	3.40	1.64	1.47	9.12
1996	41.04	10.00	5.36	3.33	2.08	1.88	7.91
1997	34.63	9.57	5.07	3.13	1.65	1.43	7.60
1998	38.91	9.73	5.73	3.70	2.18	1.98	7.60
1999	45.73	8.87	4.88	3.40	2.30	2.13	7.65
2000	35.99	7.54	4.06	2.58	1.20	0.84	6.40
2001	50.53	10.21	5.61	3.64	2.66	2.32	8.84
2002	73.75	13.94	7.07	2.42	1.64	1.58	10.47
平均	73.75	10.01	5.57	3.21	1.85	0.84	7.94

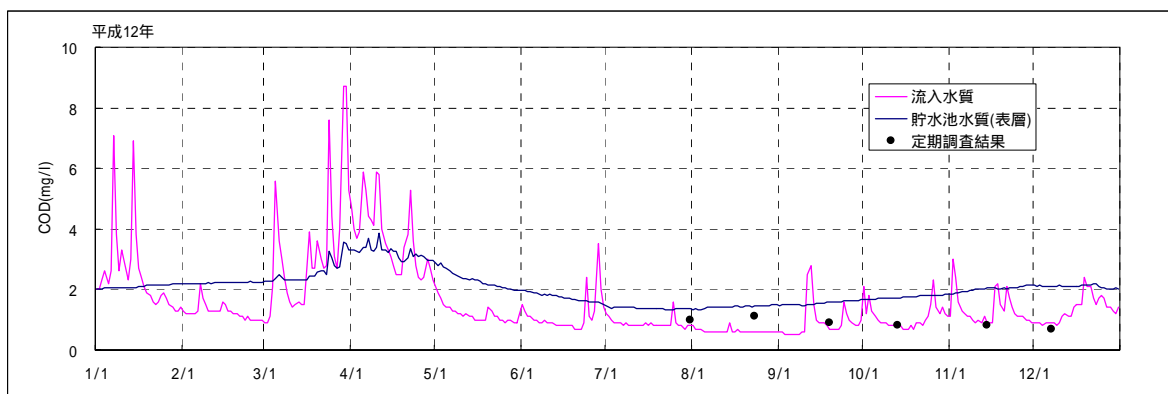
富栄養化現象について

丹生ダム貯水池における富栄養化現象の発生可能性を検討するため、1992年～2002年の11年間の計算対象期間のうち夏期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、丹生ダム貯水池水質を予測した結果の一例を図2.2.35に示す。

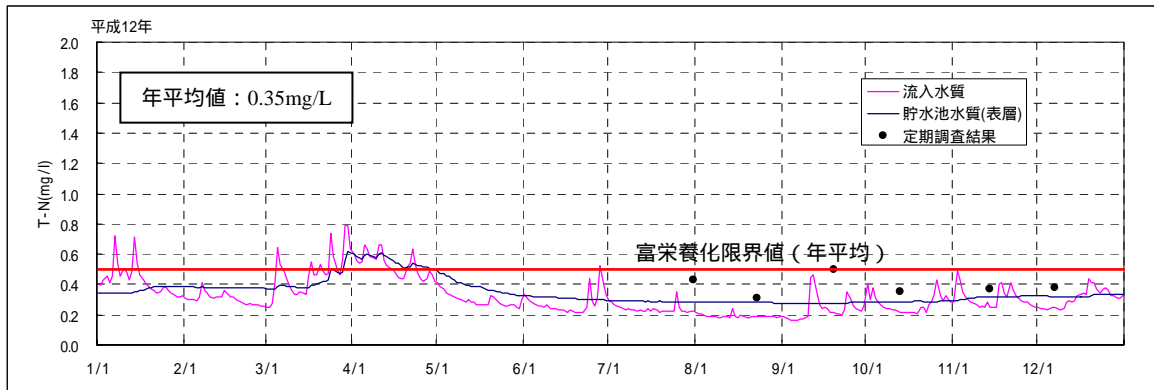
Chl - a



COD



T - N



T - P

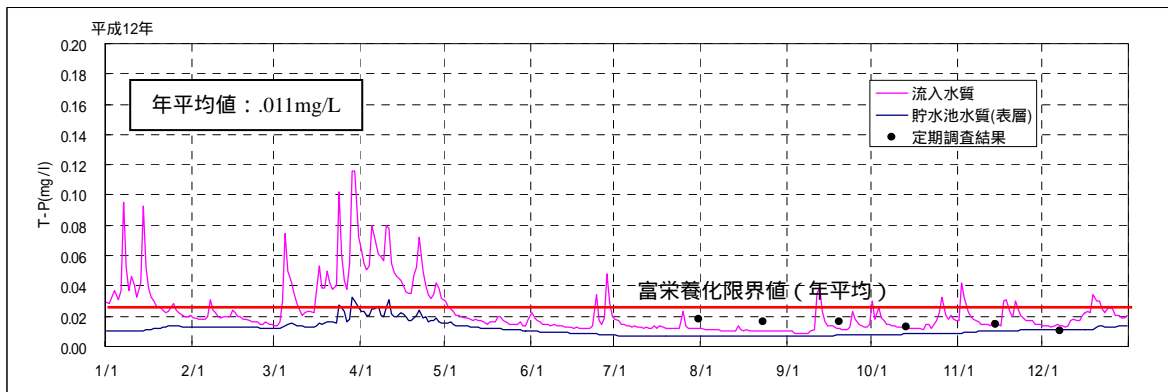


図 2.2.35 丹生ダム貯水池水質の予測結果の一例（2000年）

環境放流条件を考慮した場合においても、貯水池表層の植物プランクトンは大きな増殖を示さず、富栄養化判定基準の中栄養のレベル(クロロフィル a : 年平均値 = 8 $\mu\text{g/L}$ 以下、年最大値 = 25 $\mu\text{g/L}$ 以下)を超えることはない。同様に、窒素、リンについても富栄養化判定基準の中栄養 (T - N = 0.5mg/L、T - P = 0.025mg/L 以下) を超えることはない。

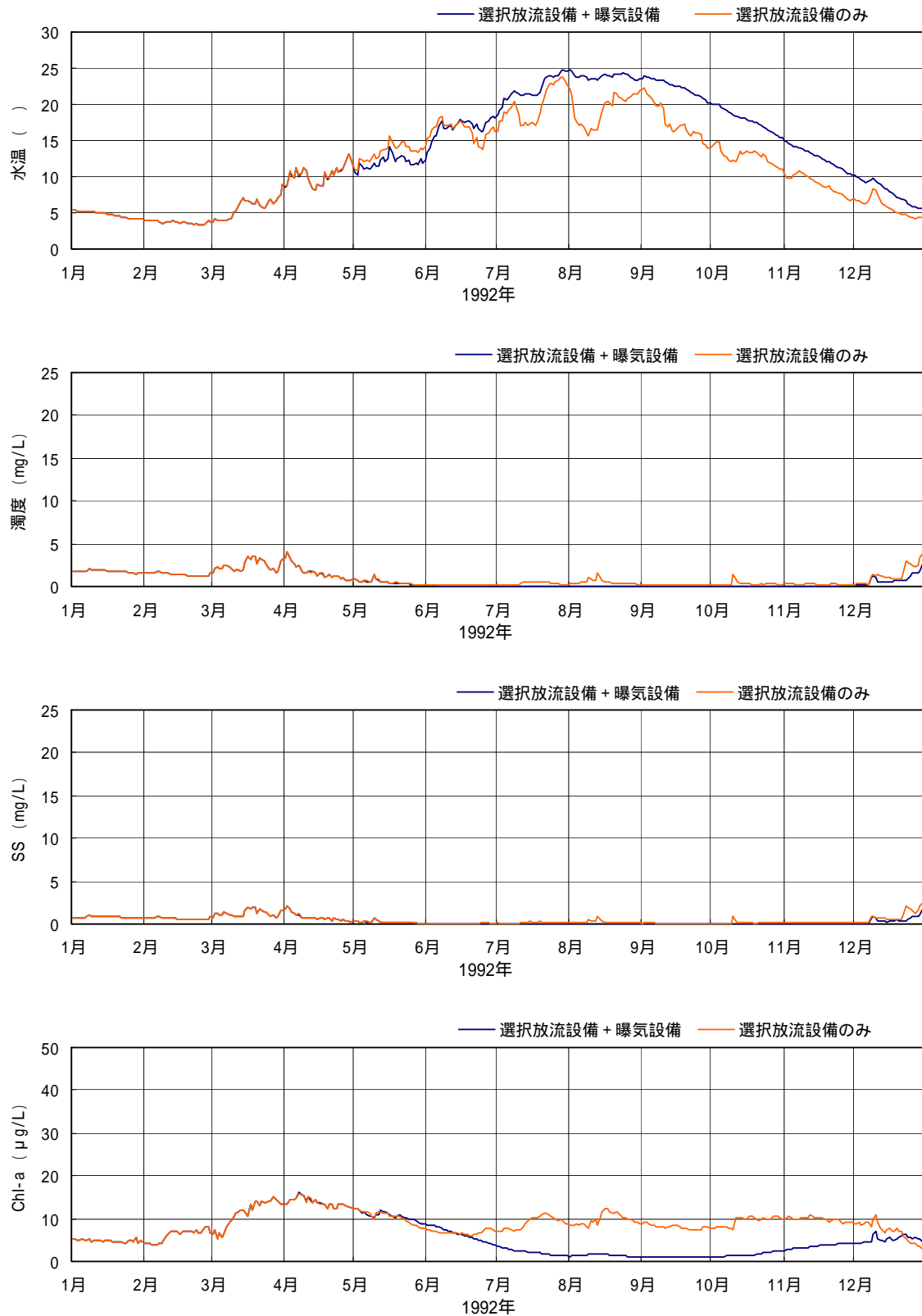


図 2.2.36 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化(1992年:環境放流あり)

また、曝気を行うことによって、富栄養化を助長させる場合があるとの指摘がある。これに対して、曝気を実施しない場合と曝気を実施した場合の貯水池水質予測結果を比較すると、曝気を行うことによって表層のクロロフィルa濃度やCOD, 栄養塩濃度(窒素、リン)が増加するような状況は認められない。むしろ曝気を行った方がクロロフィルa濃度が低下し、COD、窒素、リン濃度も低くなる予測結果となっている。

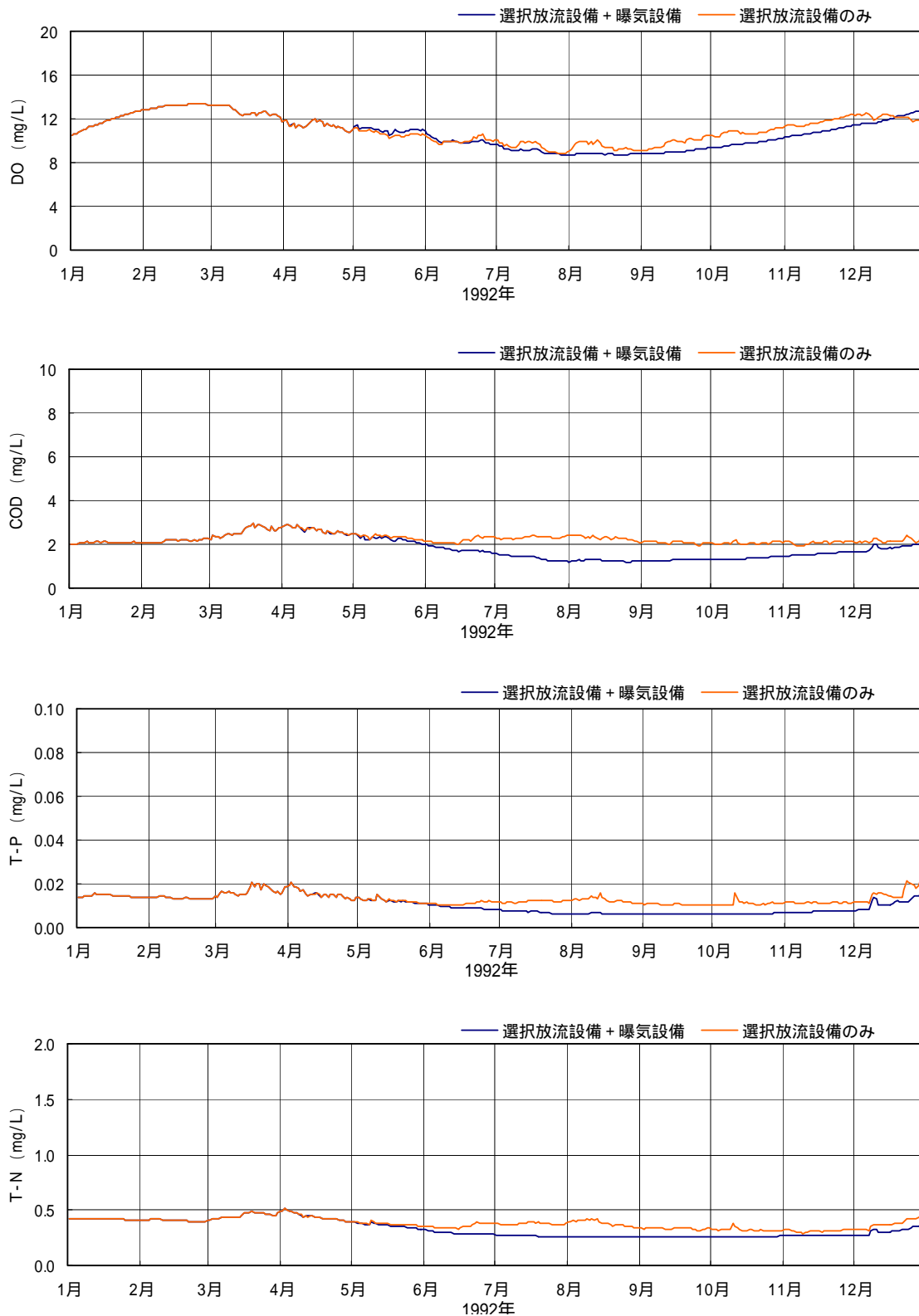


図 2.2.37 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化(1992年:環境放流あり)

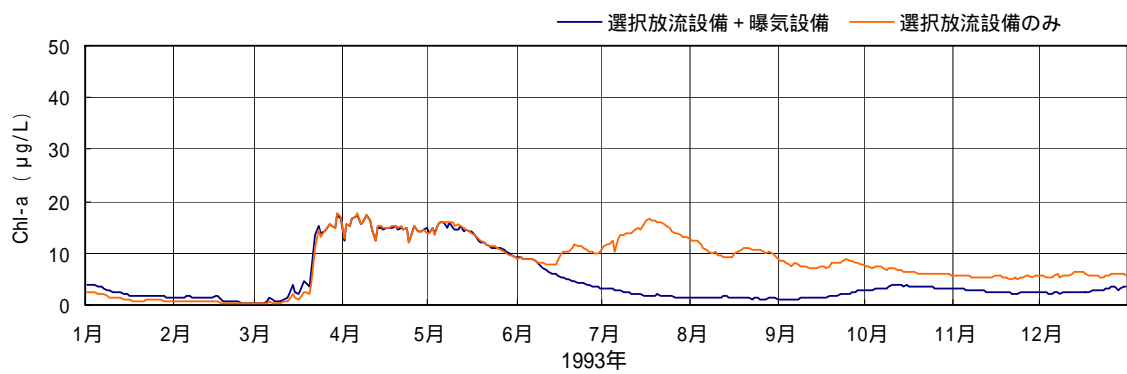
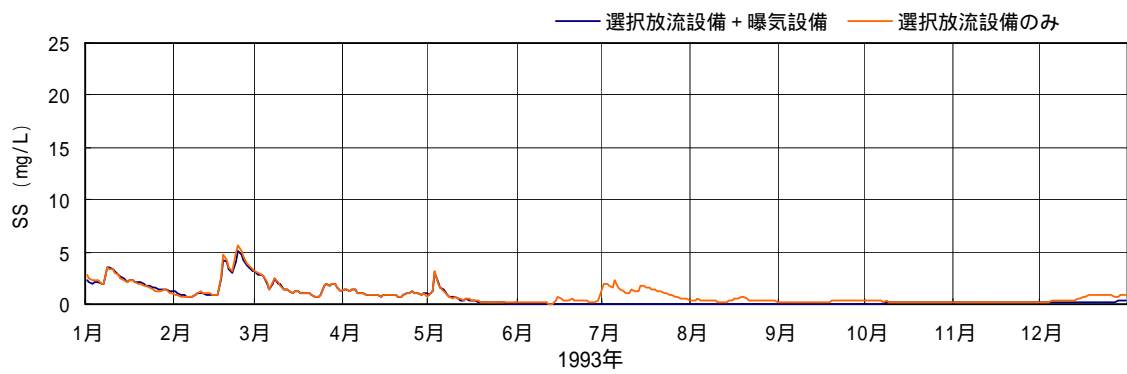
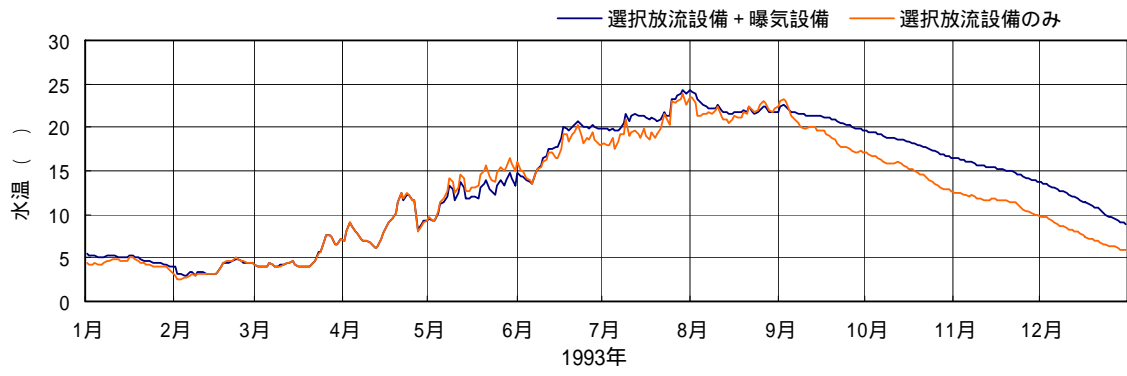


図 2.2.38 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化(1993年：環境放流あり)

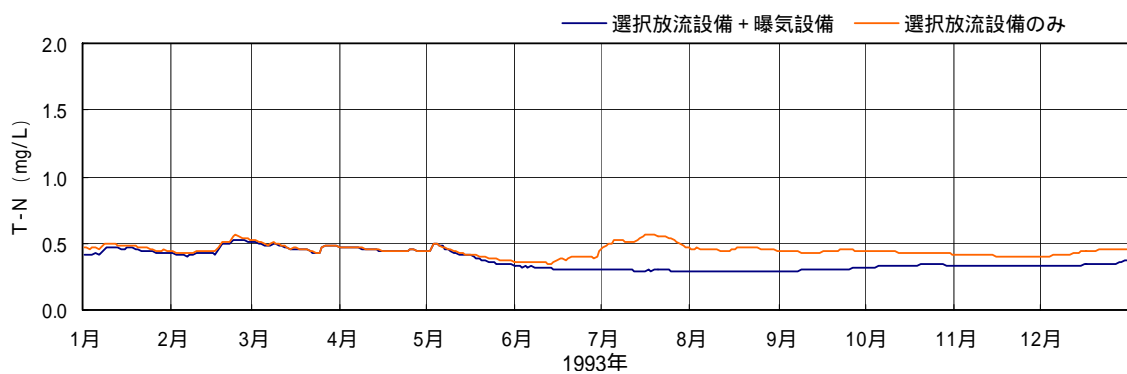
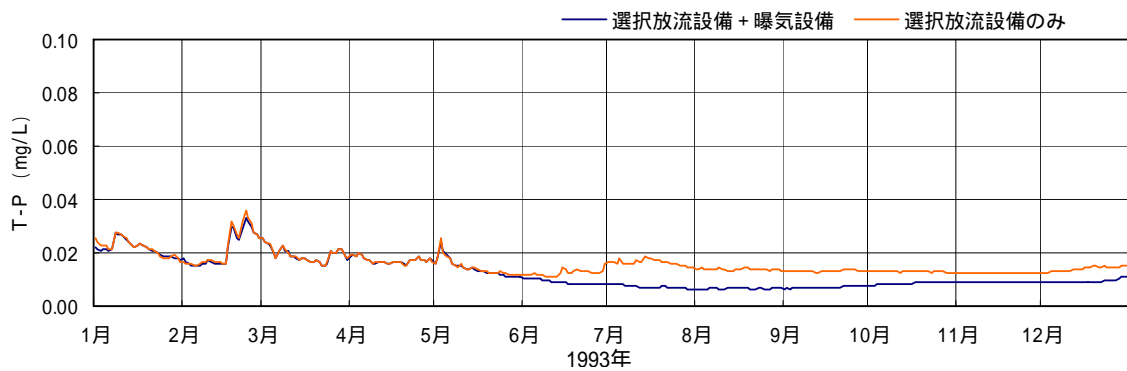
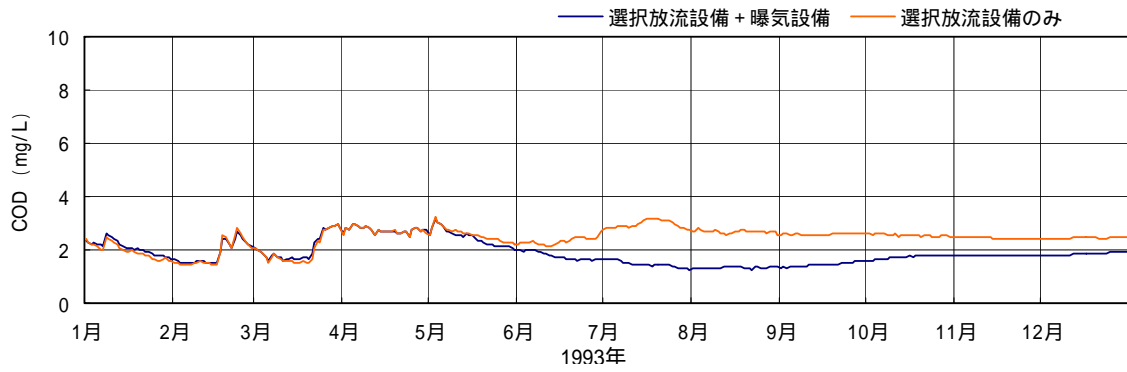
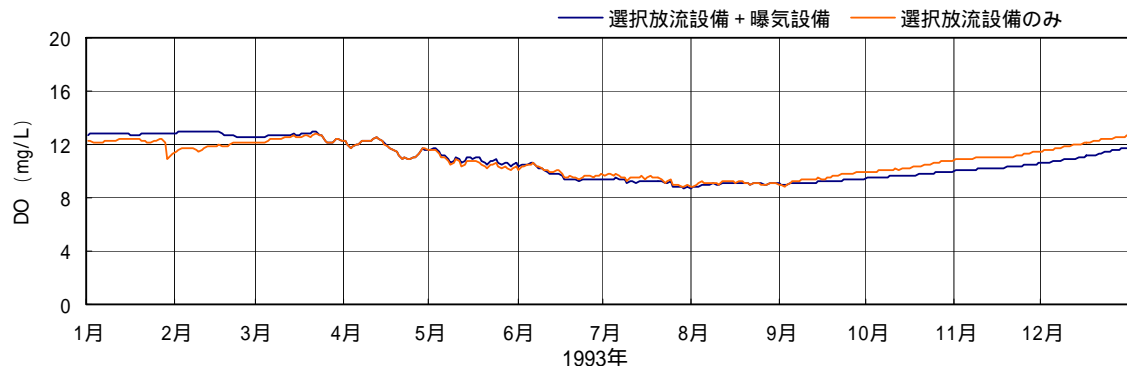


図 2.2.39 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化 (1993年：環境放流あり)

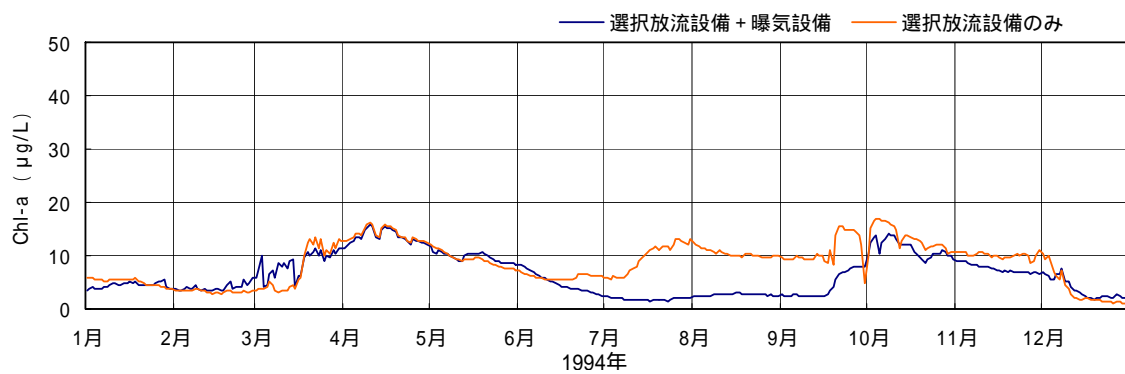
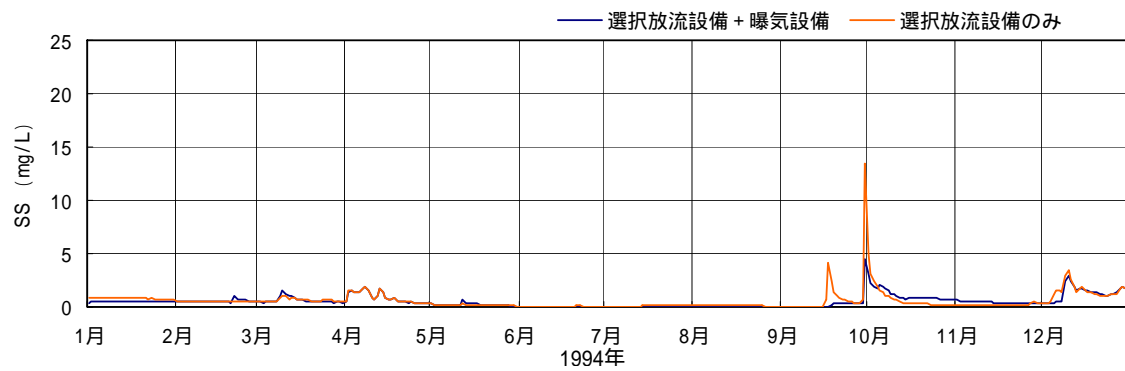
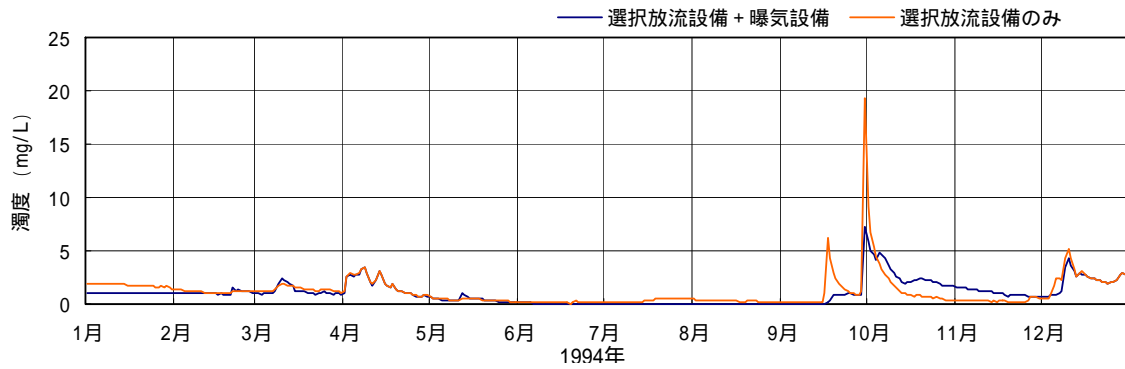
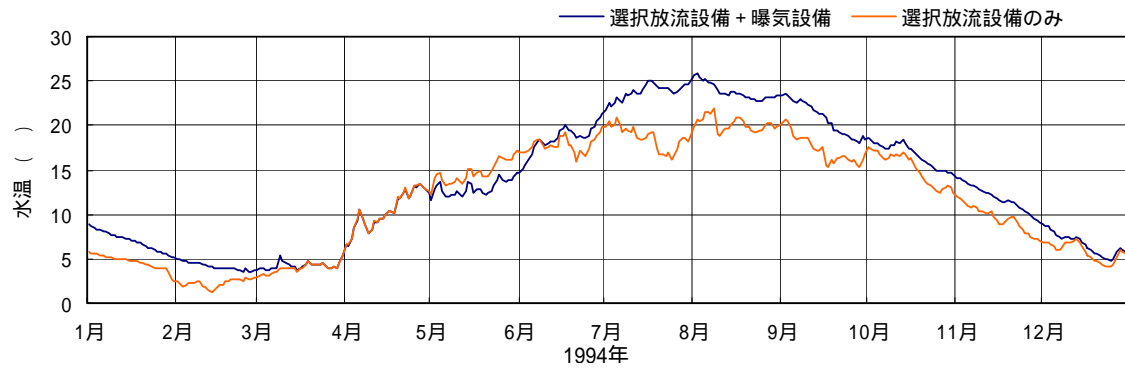
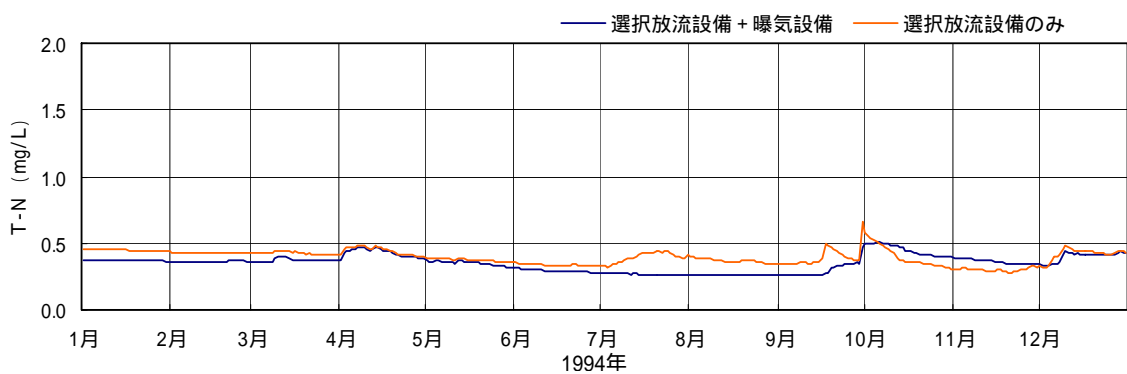
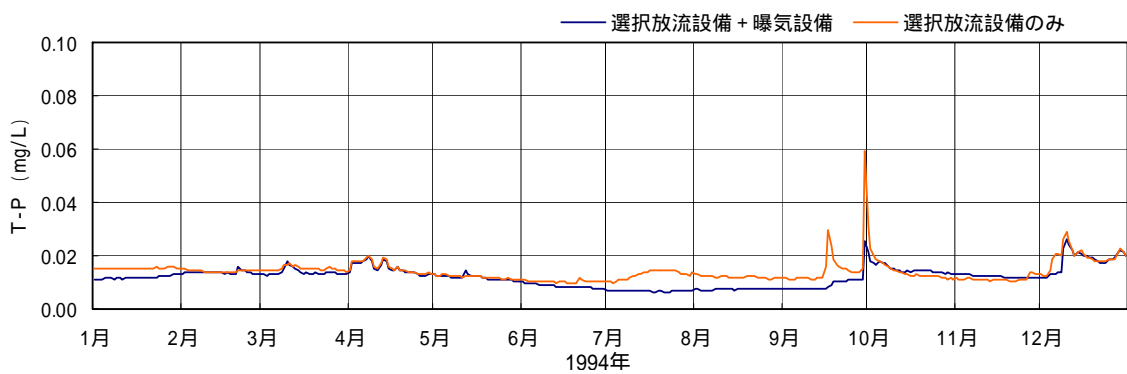
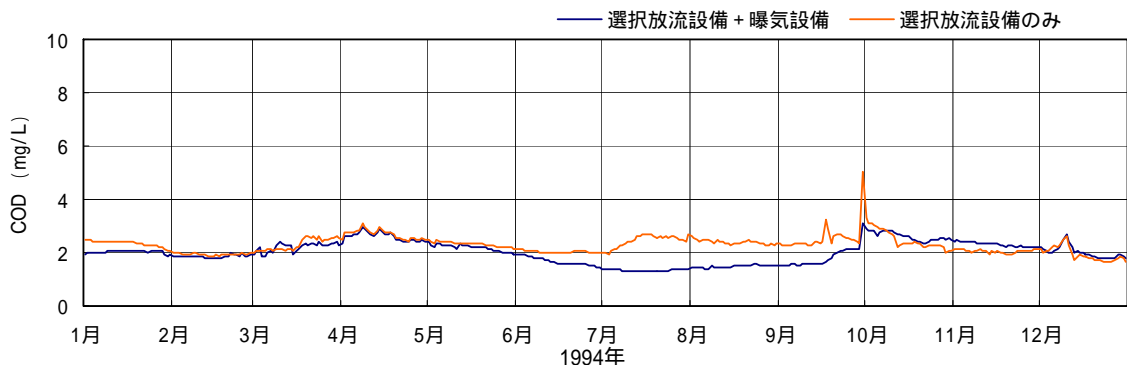
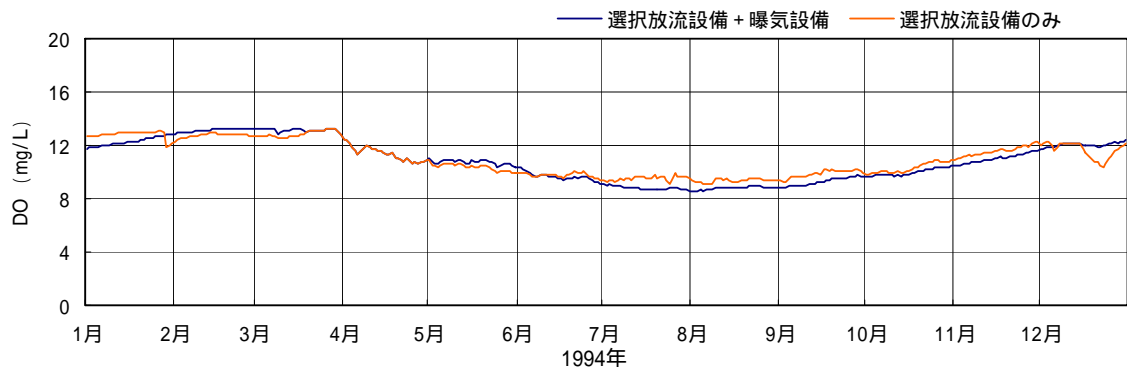


図 2.2.40 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化(1994年:環境放流あり)



☒ 2.2.41 曝気を実施した場合の丹生ダム貯水池表層水質の変化（1994年：環境放流あり）

これまで、富栄養化現象等について、代表的な年を取り上げその状況を整理したが、貯水池の水質は当然のことながら各年の流況によって変化する。前述した 11 年間の対象とした予測結果を用いて、ダム放流水質がどの程度の幅を持って変化するかを整理した。その結果を図 2.2.42 ~ 2.2.43 示す。

クロロフィル a の挙動についても、各年の流況や気象条件によって変化しているが、その変動範囲はさほど広くない。今回対象とした流況条件では大きな出水や、濁水等種々の流況条件が考慮されているが、これらの条件を考慮してもクロロフィル a の濃度は富栄養化判定基準の中栄養のレベルを超えることはない。

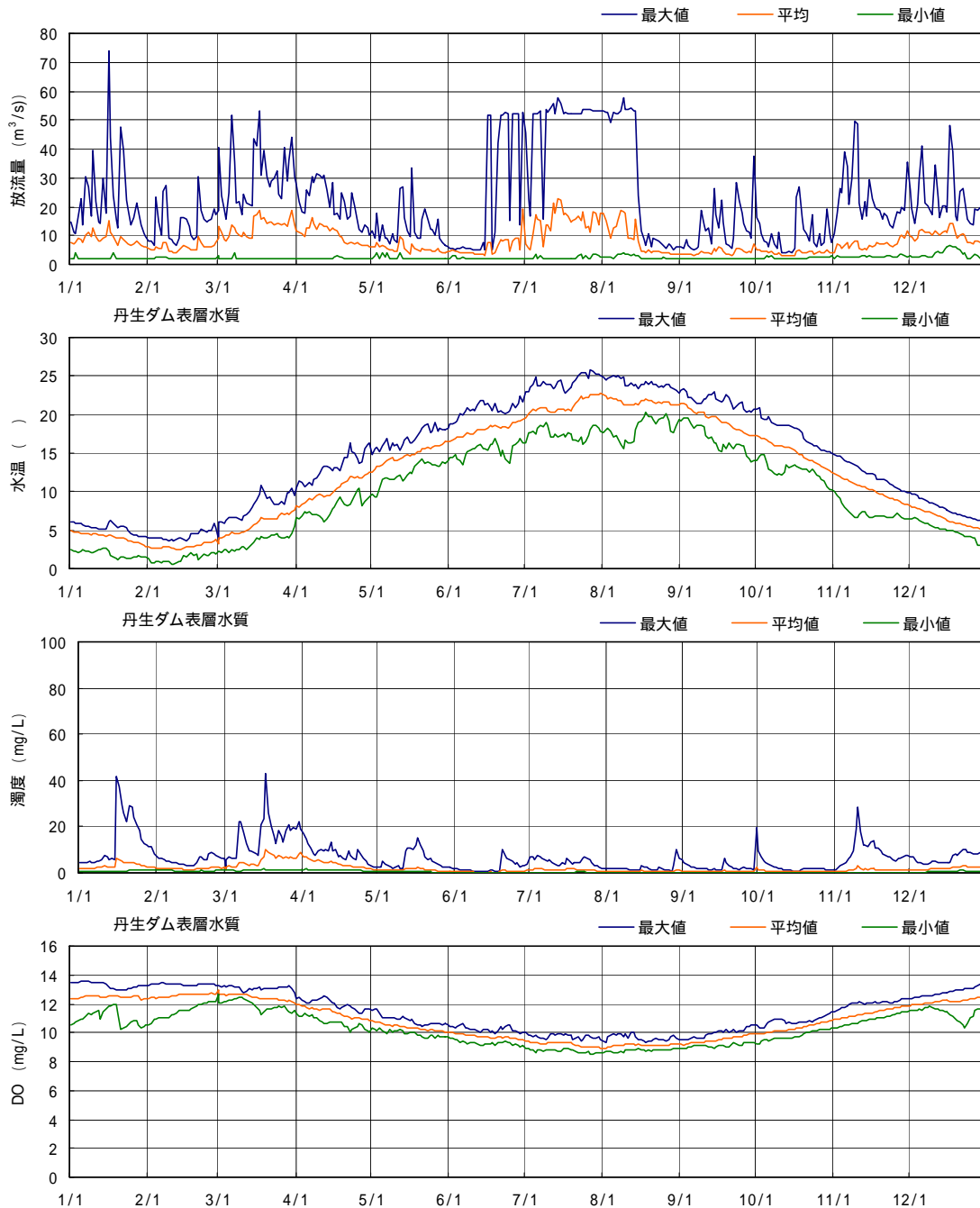


図 2.2.42 丹生ダム貯水池水質予測結果(1992 ~ 2002 年の予測結果を整理)

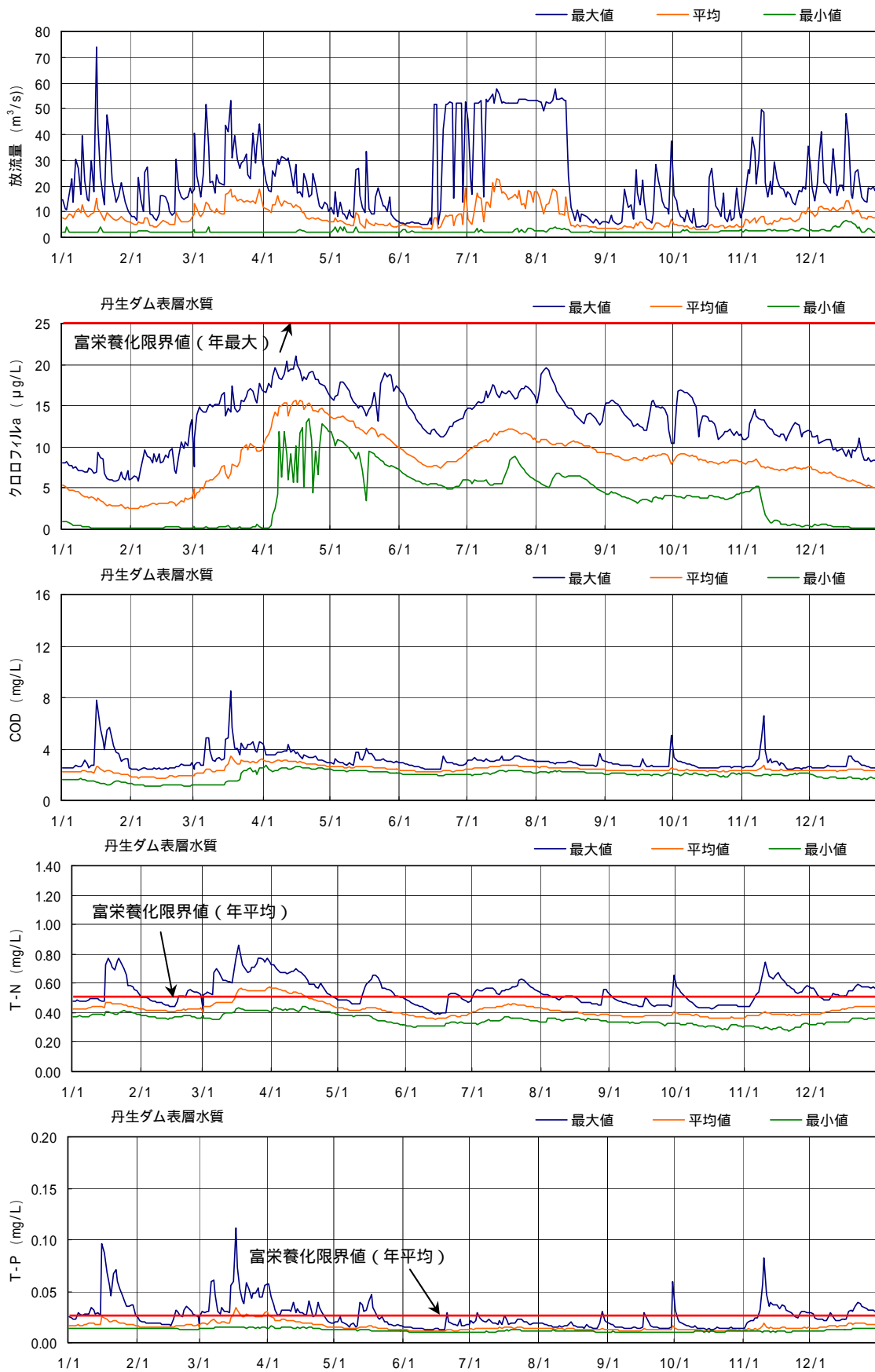


図 2.2.43 丹生ダム貯水池水質予測結果(1992～2002年の予測結果を整理)

CODについては、出水等に伴って濃度が一時的に高くなる場合があるが、全体としては変動幅が小さく、平均的には3mg/L前後で推移している。

総窒素、総リンについても、同様であり、全体としては流況が異なったとしても富栄養化判定基準の中栄養のレベルを超えることはない。

既往検討においては、丹生ダム貯水池の富栄養化について、フォーレンヴァイダー（Vollenweider）モデルによる簡易予測を行っており、その結果を図 2.2.44 に示した。この結果によっても丹生ダム貯水池の栄養レベルは中栄養になるとの結果となっている。

環境放流を前提条件とし、選択取水設備の運用とともに曝気水深が最大 70mの場合と 55m場合の丹生ダム水質予測結果を図 2.2.45 ~ 2.2.88 に示した。この結果、曝気条件を変更することにより放流水温を流入水温と同程度に維持できる結果となった。

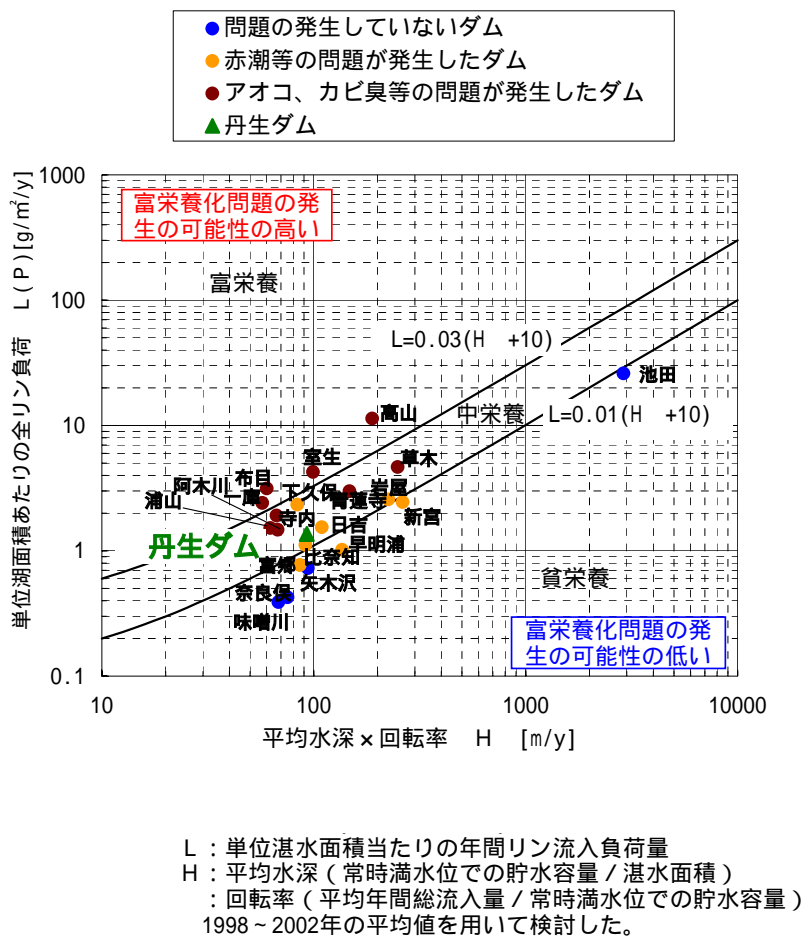


図 2.2.44 Vollenweider モデルによる丹生ダムの富栄養化予測

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

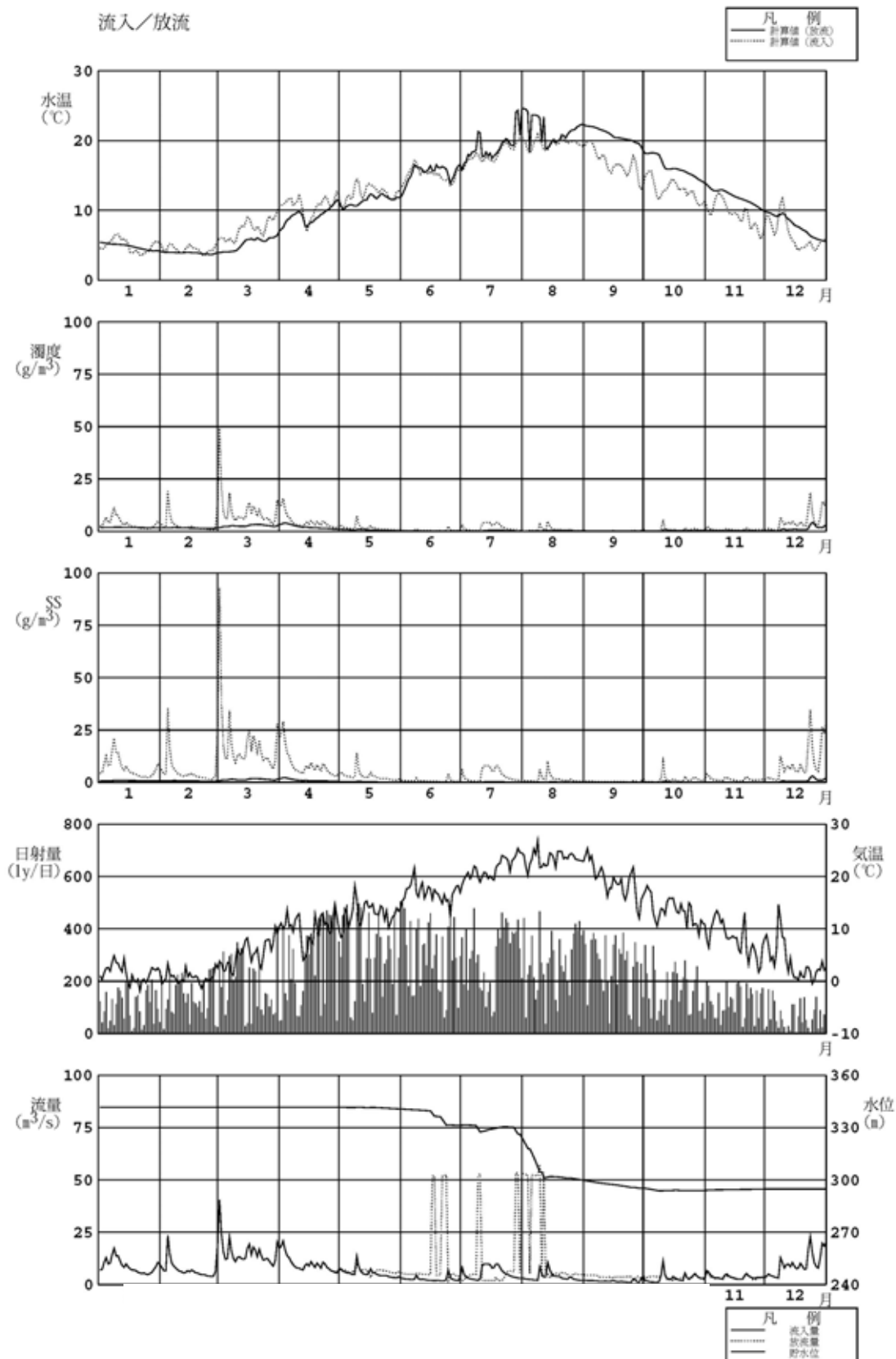


図 2.2.45 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1992 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

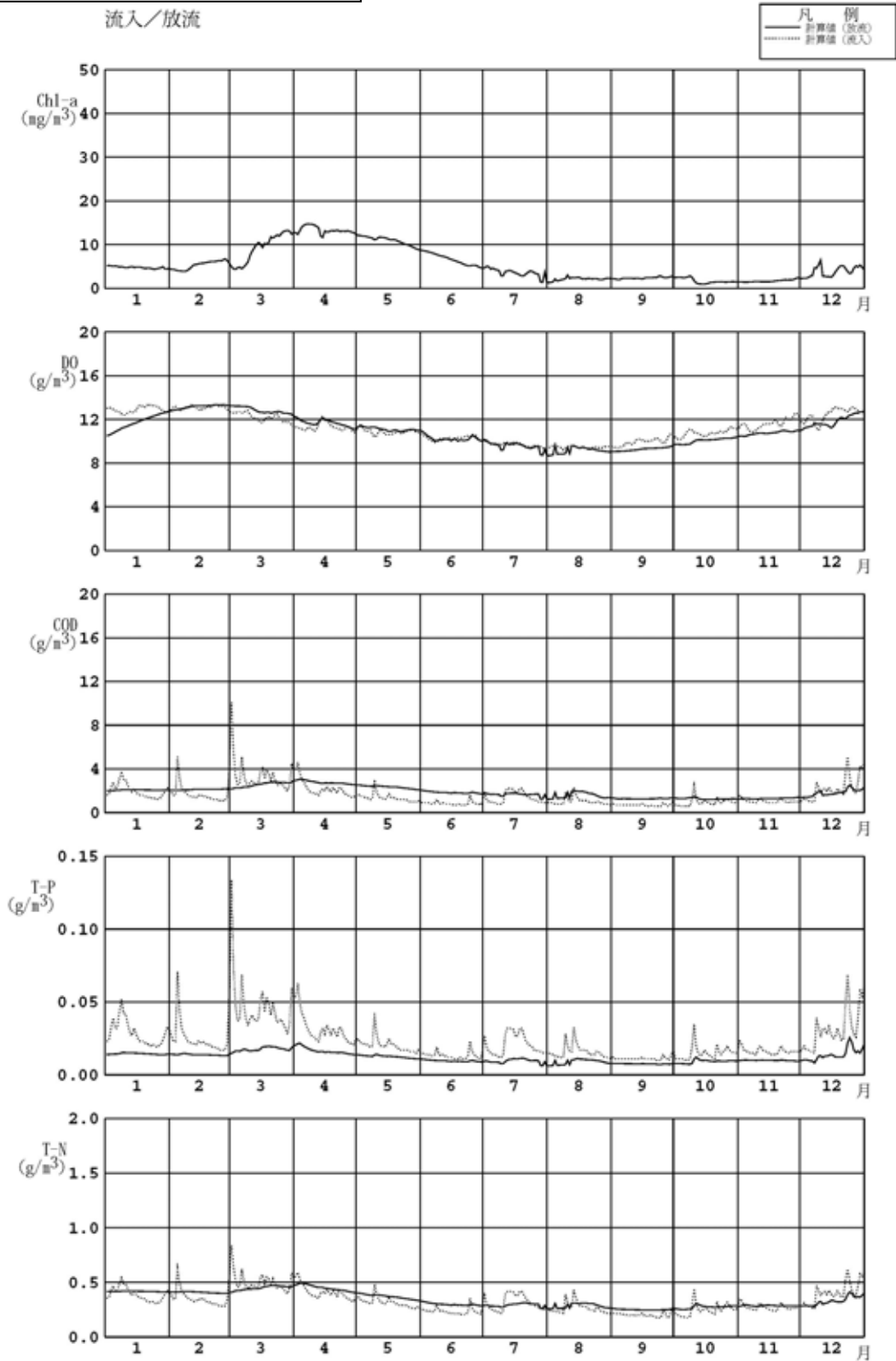


図 2.2.46 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1992 年, 曝気水深=最大 70m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

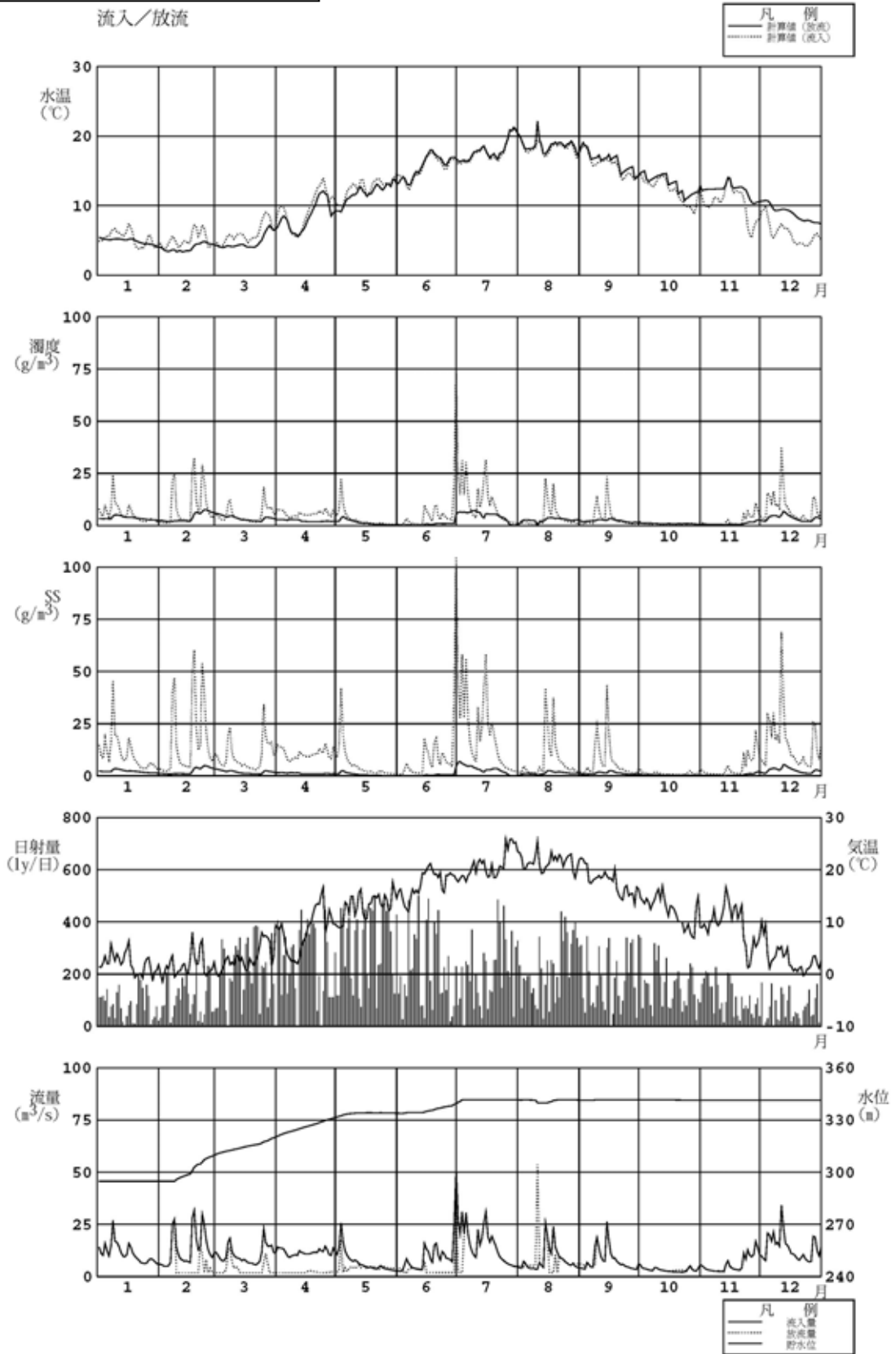


図 2.2.47 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1993 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

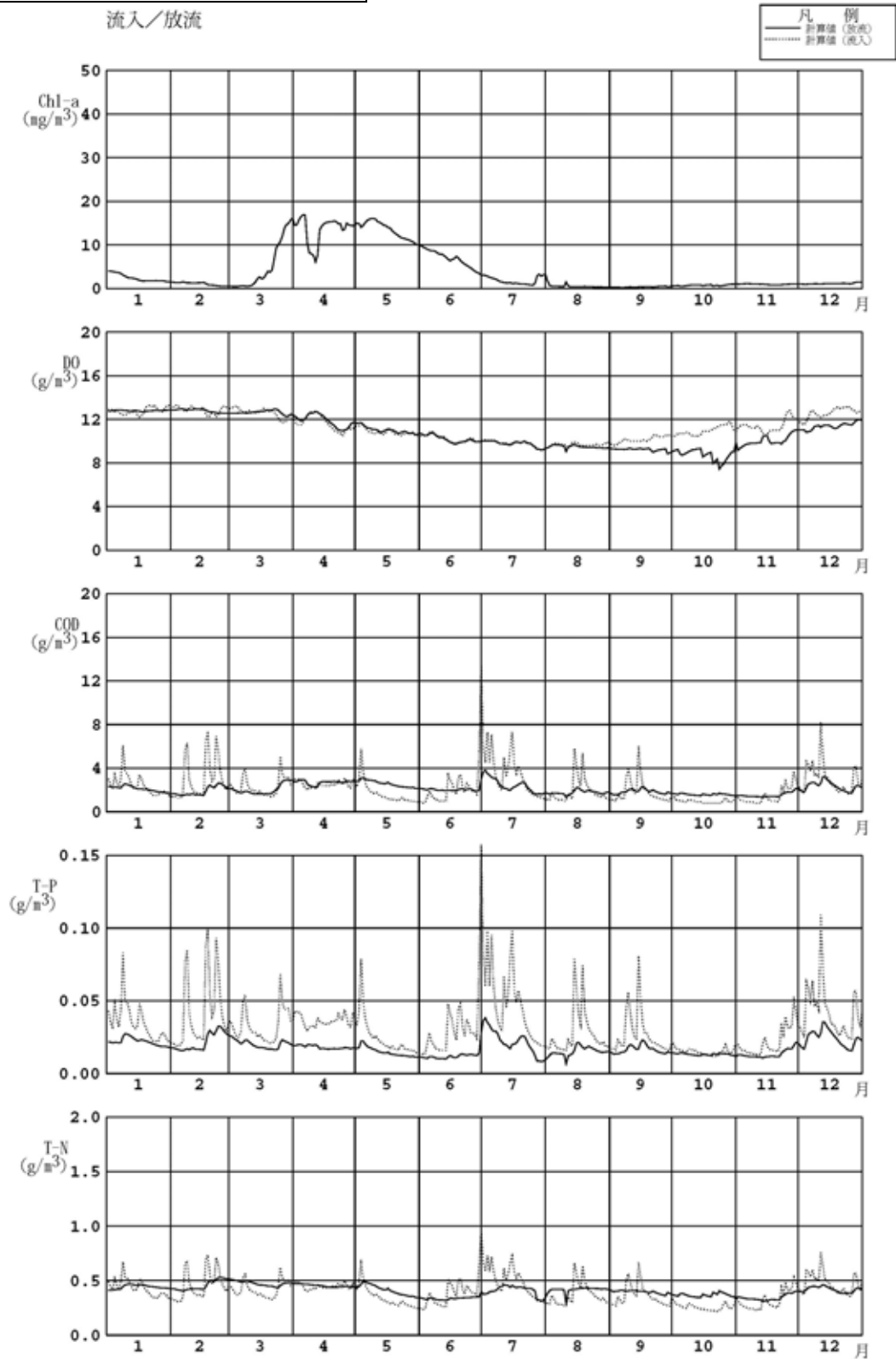


図 2.2.48 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1993 年, 曝気水深=最大 70m : その 2)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

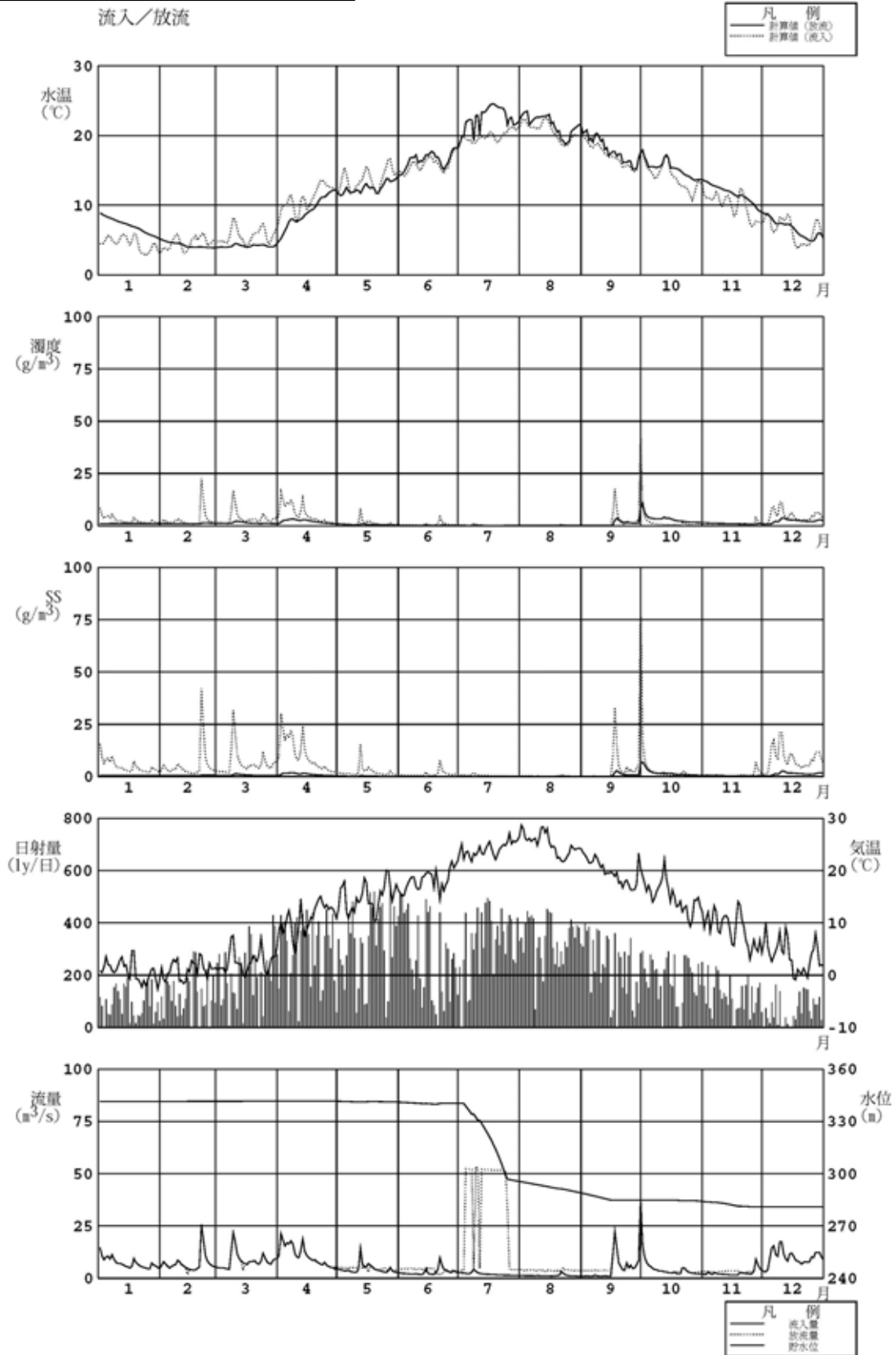


図 2.2.49 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1994 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

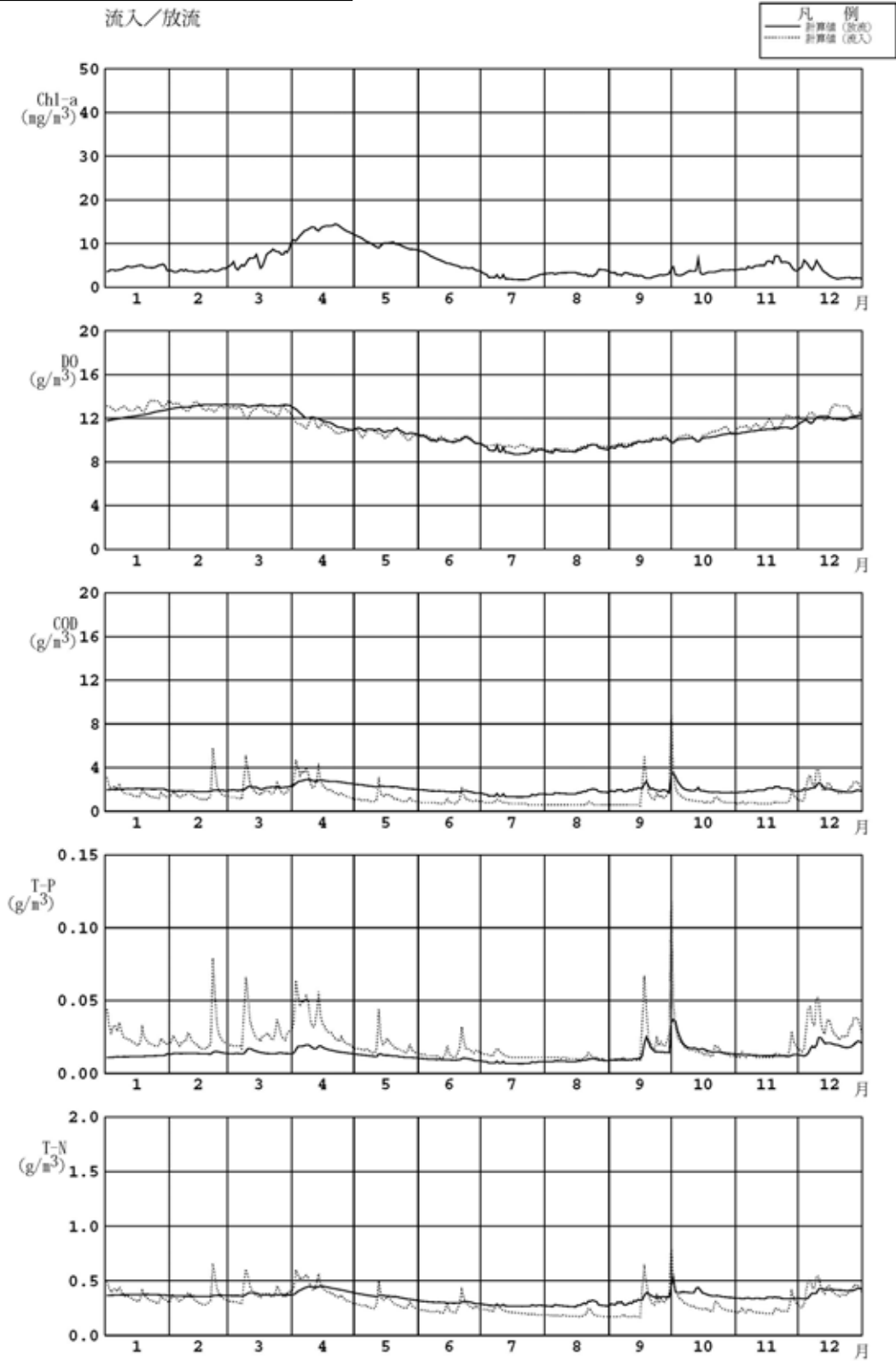


図 2.2.50 丹生ダム貯水池水質予測結果（1994年，曝気水深=最大 70m：その 2）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

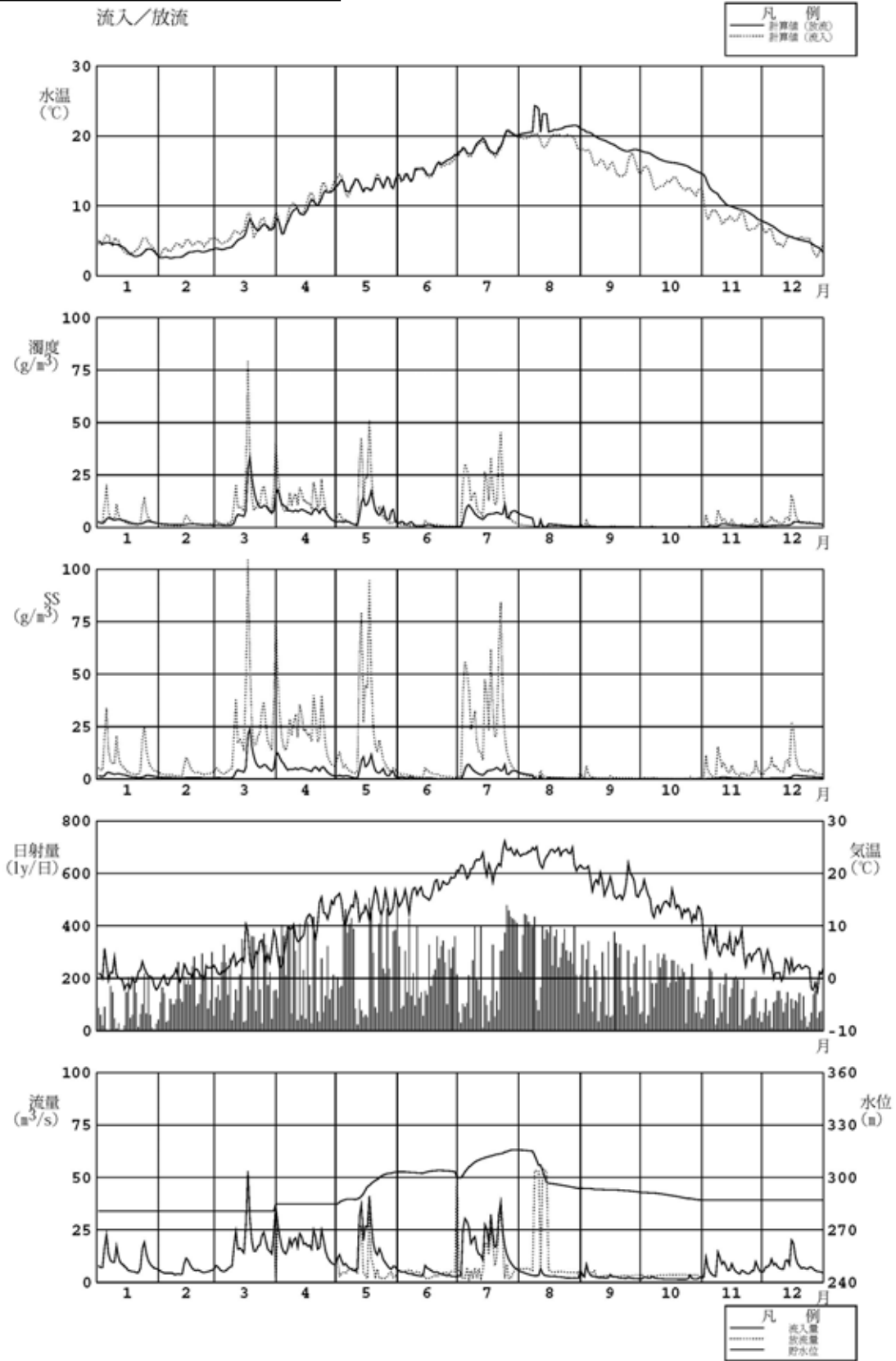


図 2.2.51 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1995年, 曝気水深=最大 70m : その1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

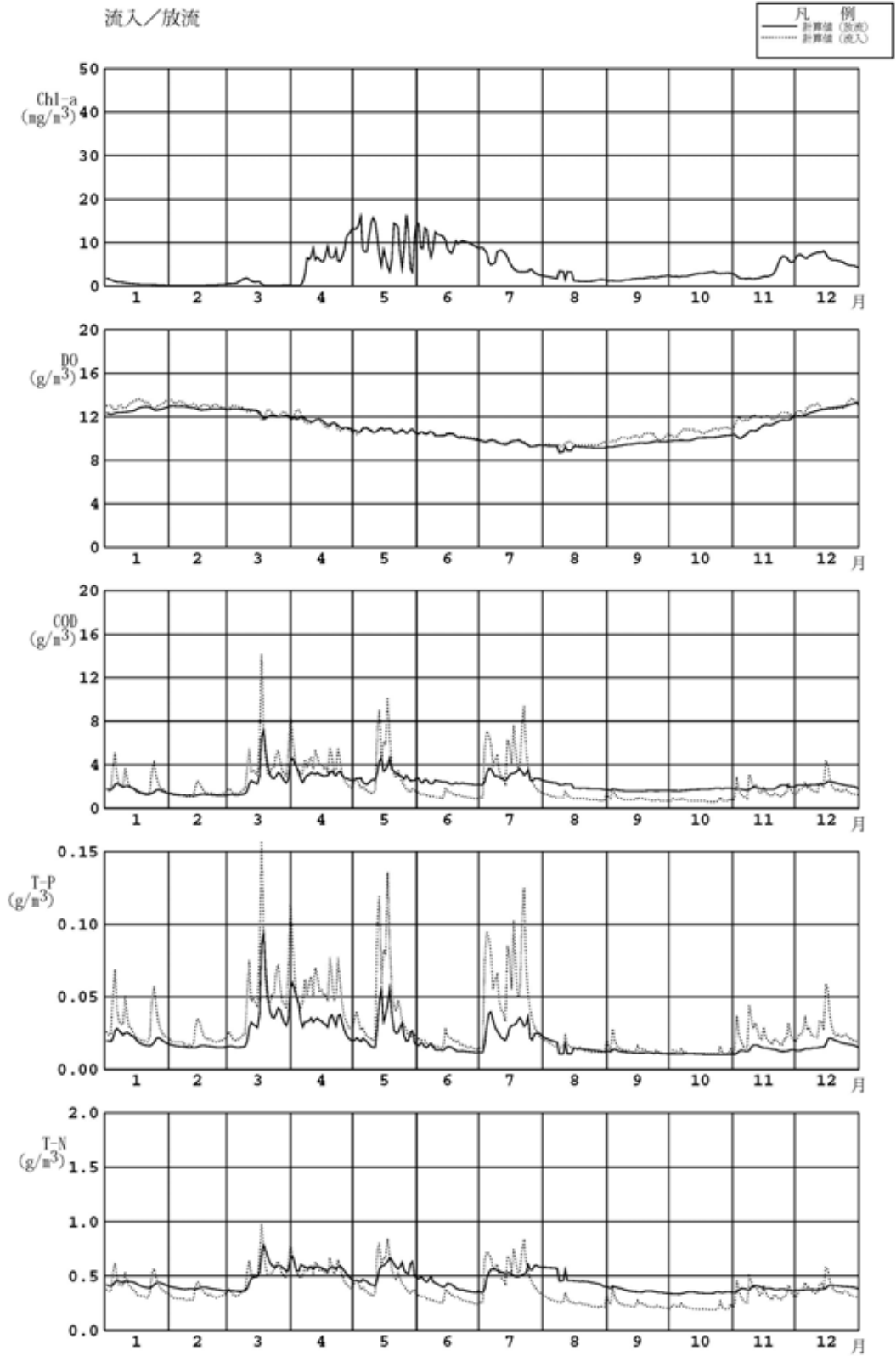


図 2.2.52 丹生ダム貯水池水質予測結果（1995年，曝気水深=最大 70m：その 2）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

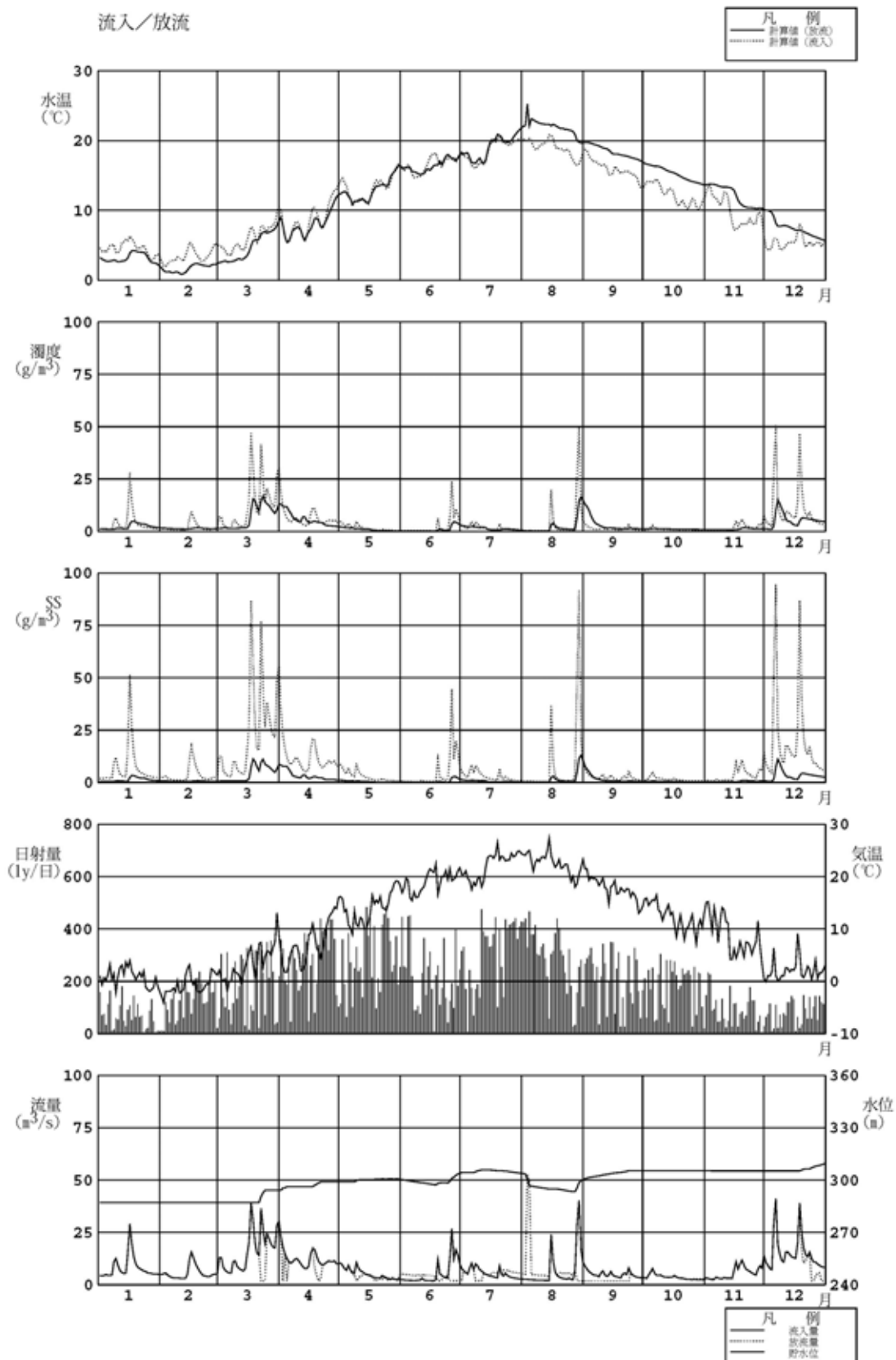


図 2.2.53 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1996 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

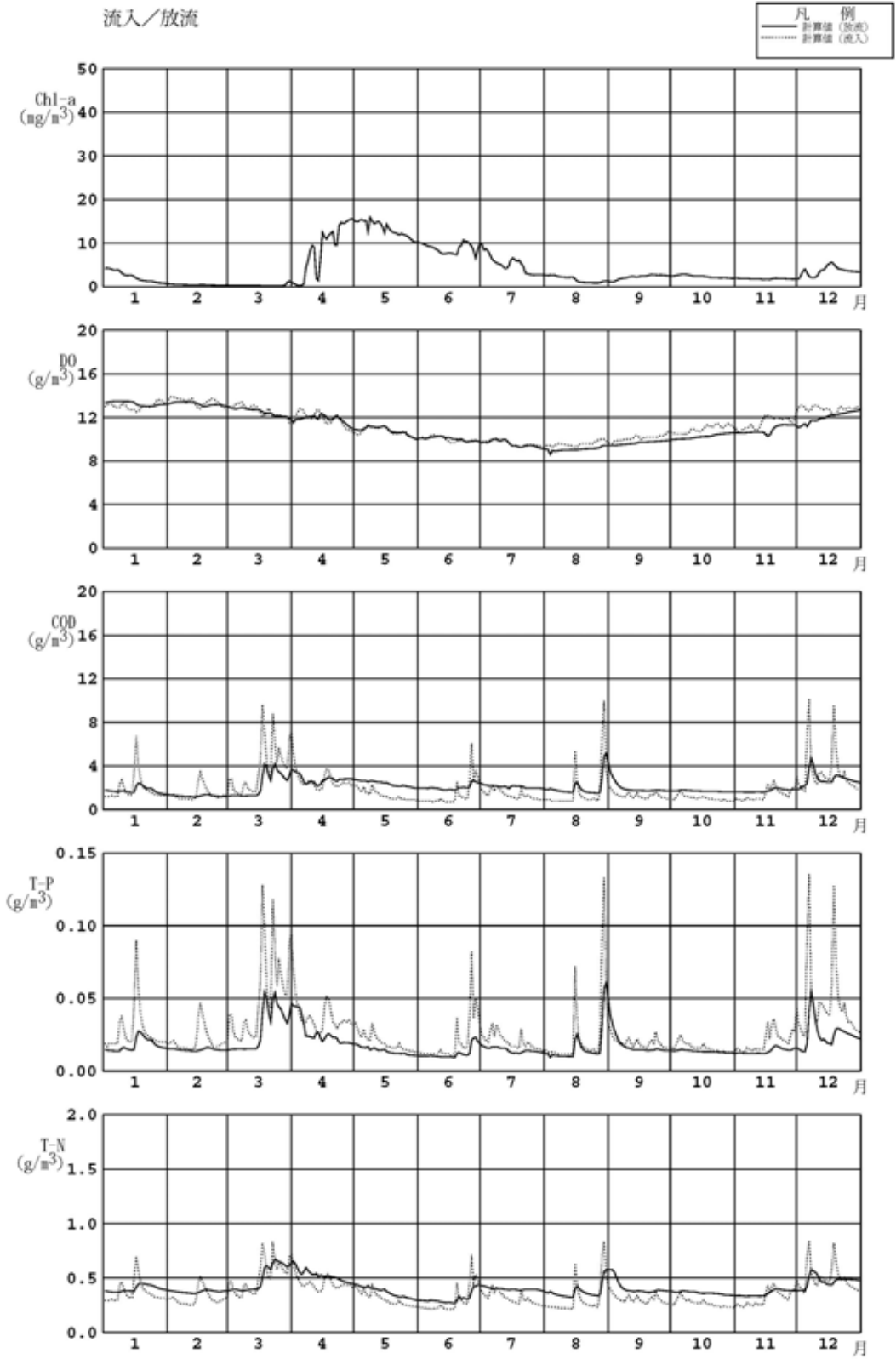


図 2.2.54 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1996 年, 曝気水深=最大 70m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

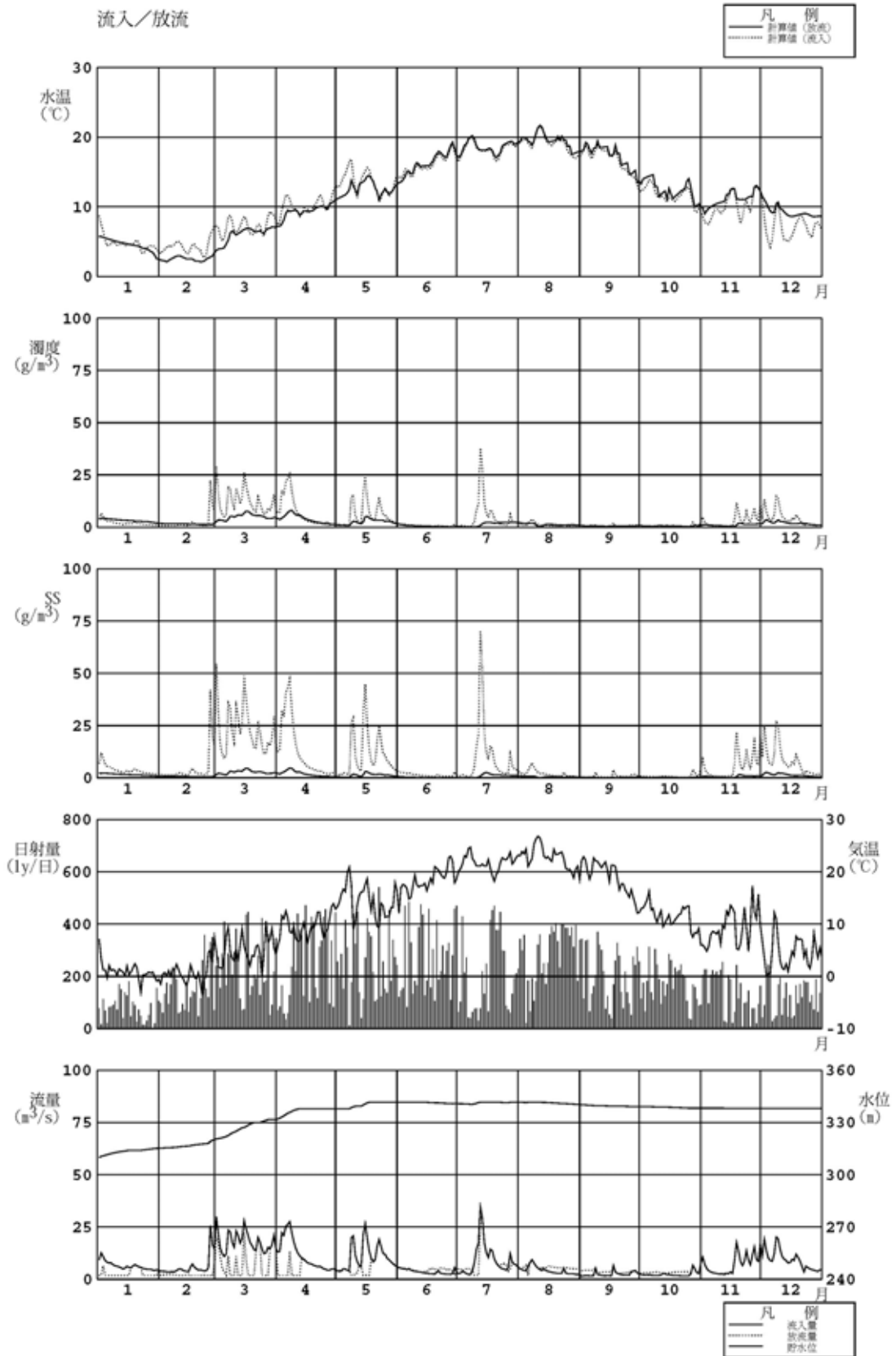


図 2.2.55 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1997 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深=最大70m）

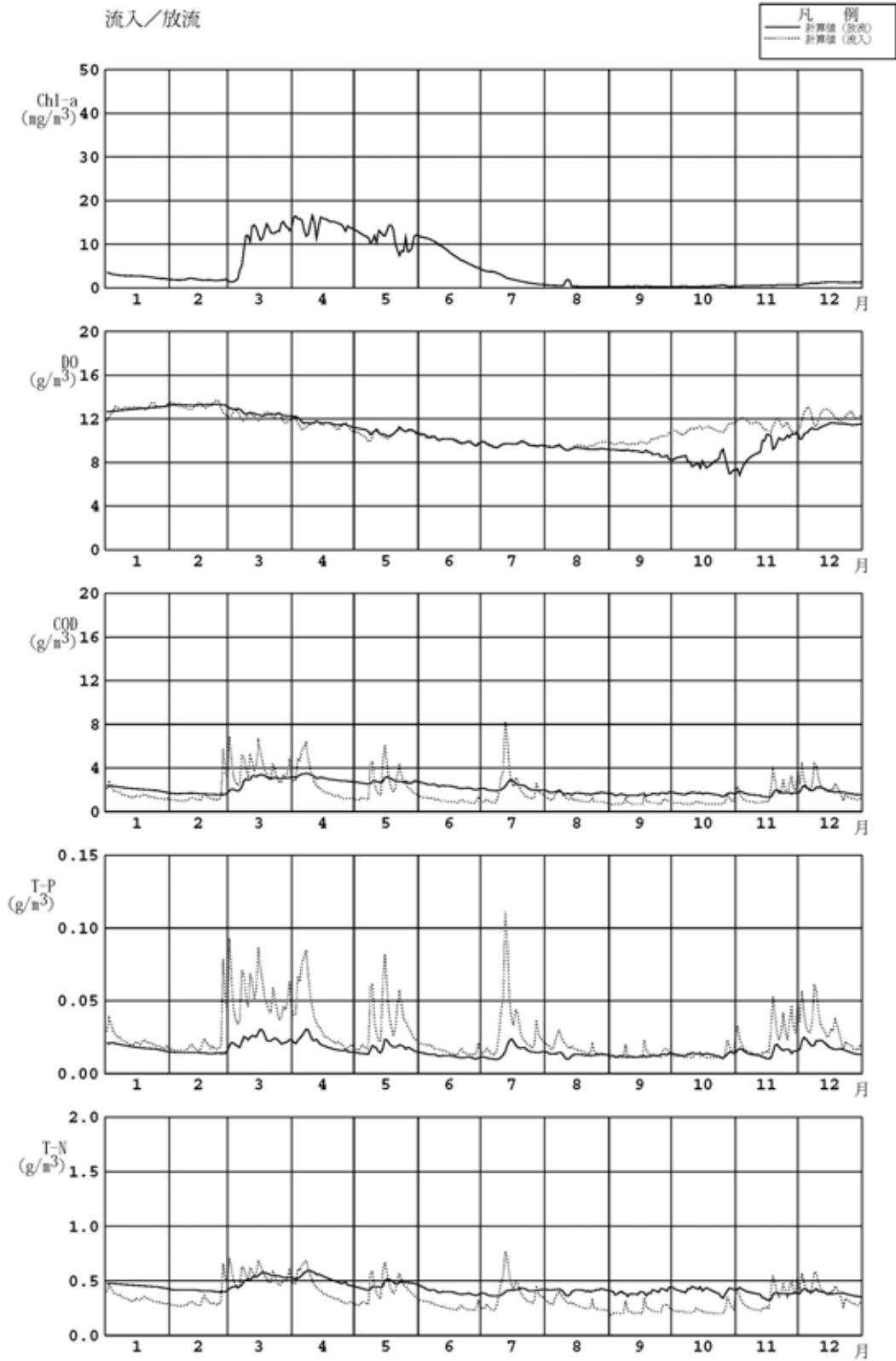


図 2.2.56 丹生ダム貯水池水質予測結果(1997年, 曝気水深=最大70m: その2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

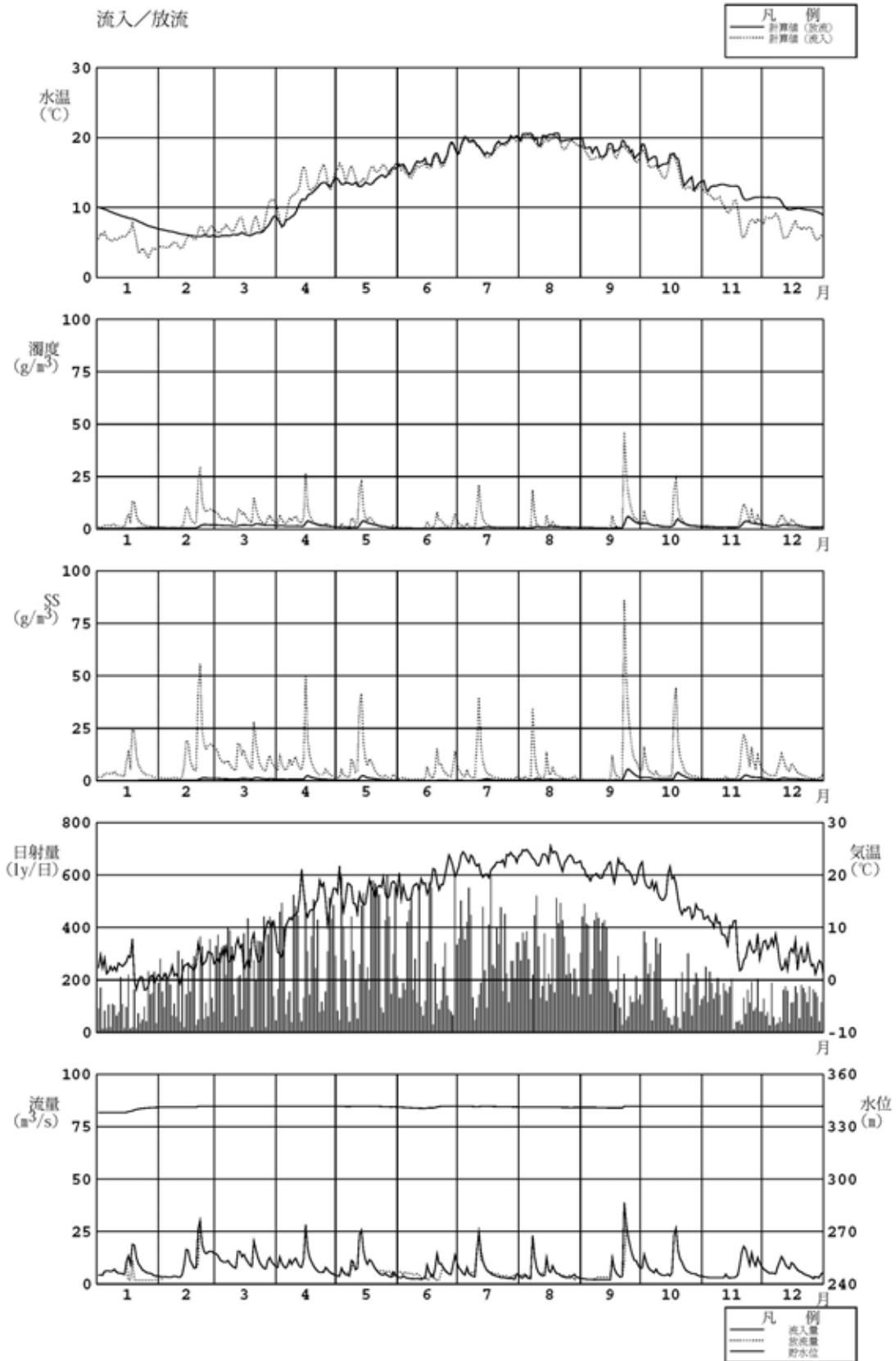


図 2.2.57 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1998年, 曝気水深=最大 70m: その1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

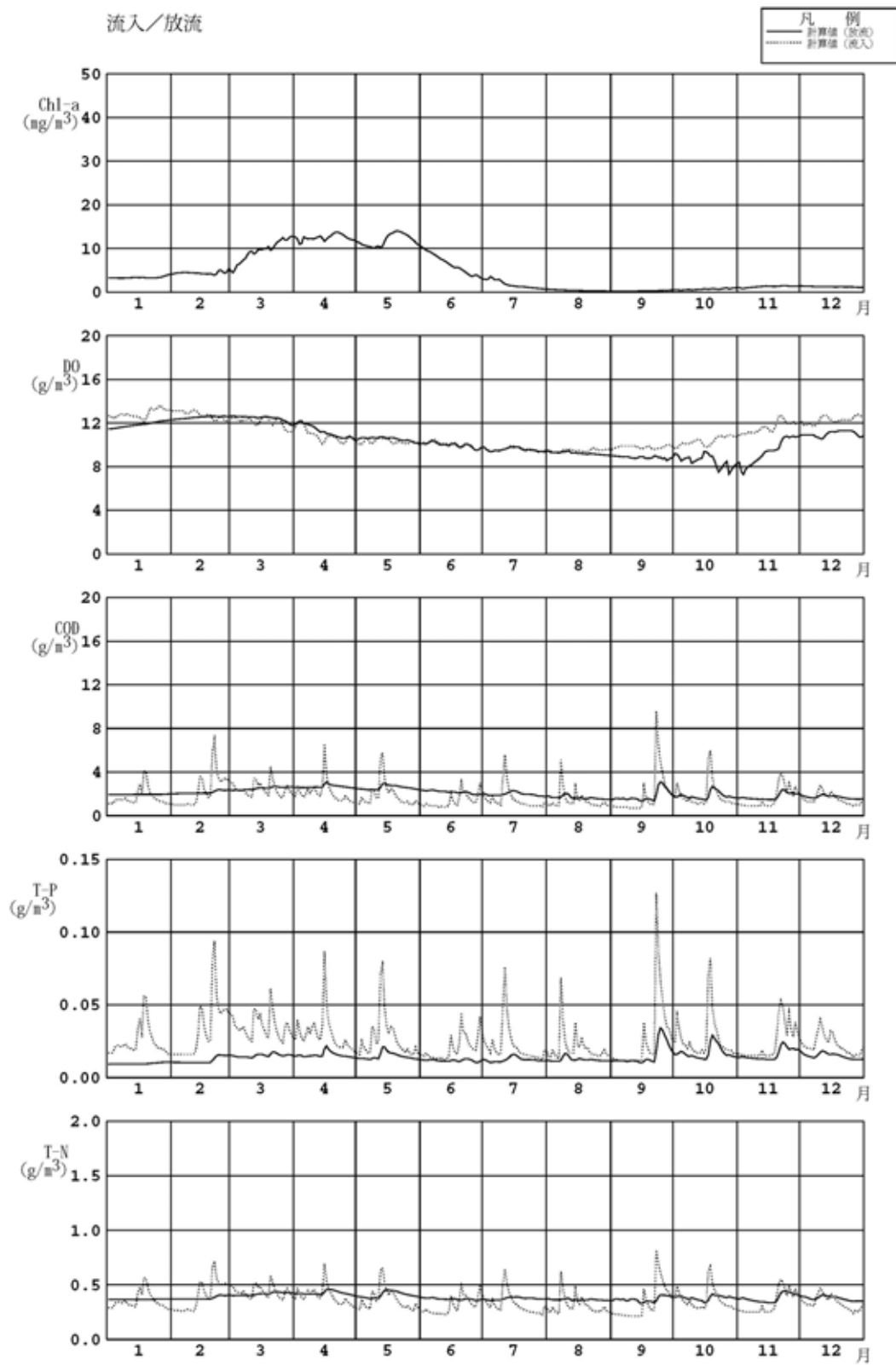


図 2.2.58 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1998 年, 曝気水深=最大 70m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

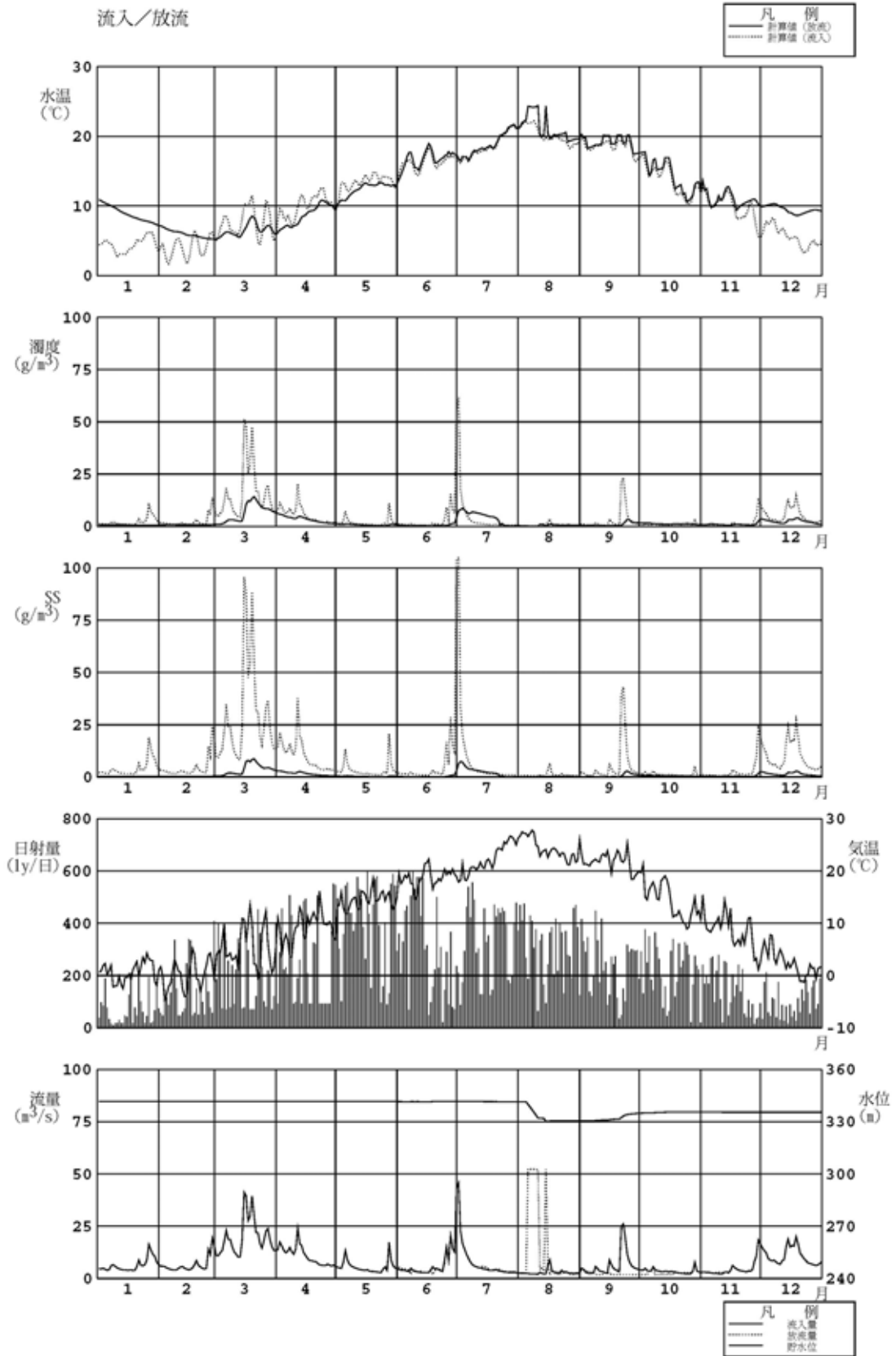


図 2.2.59 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1999年, 曝気水深=最大 70m: その1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

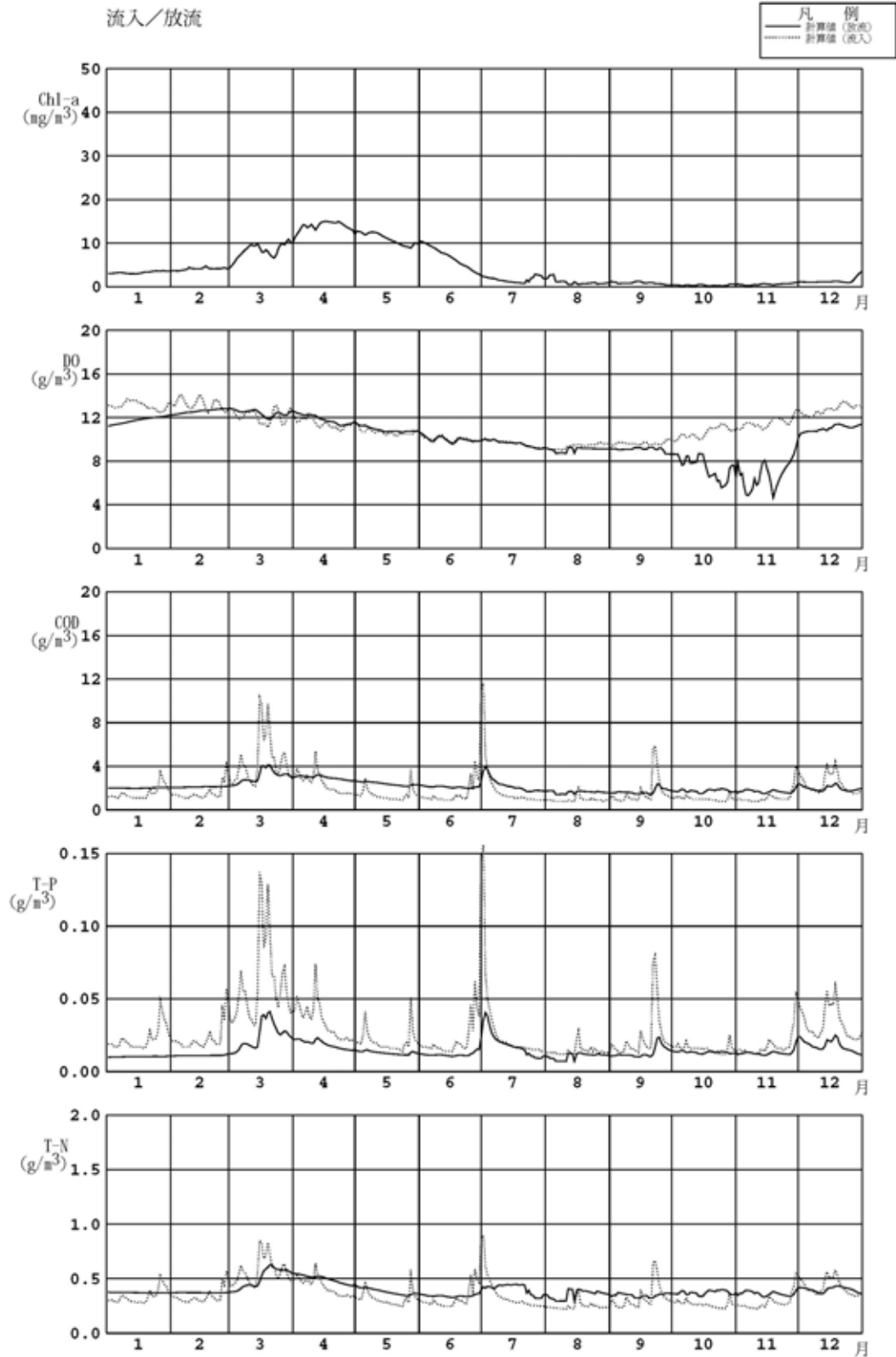


図 2.2.60 丹生ダム貯水池水質予測結果（1999年，曝気水深=最大 70m：その 2）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

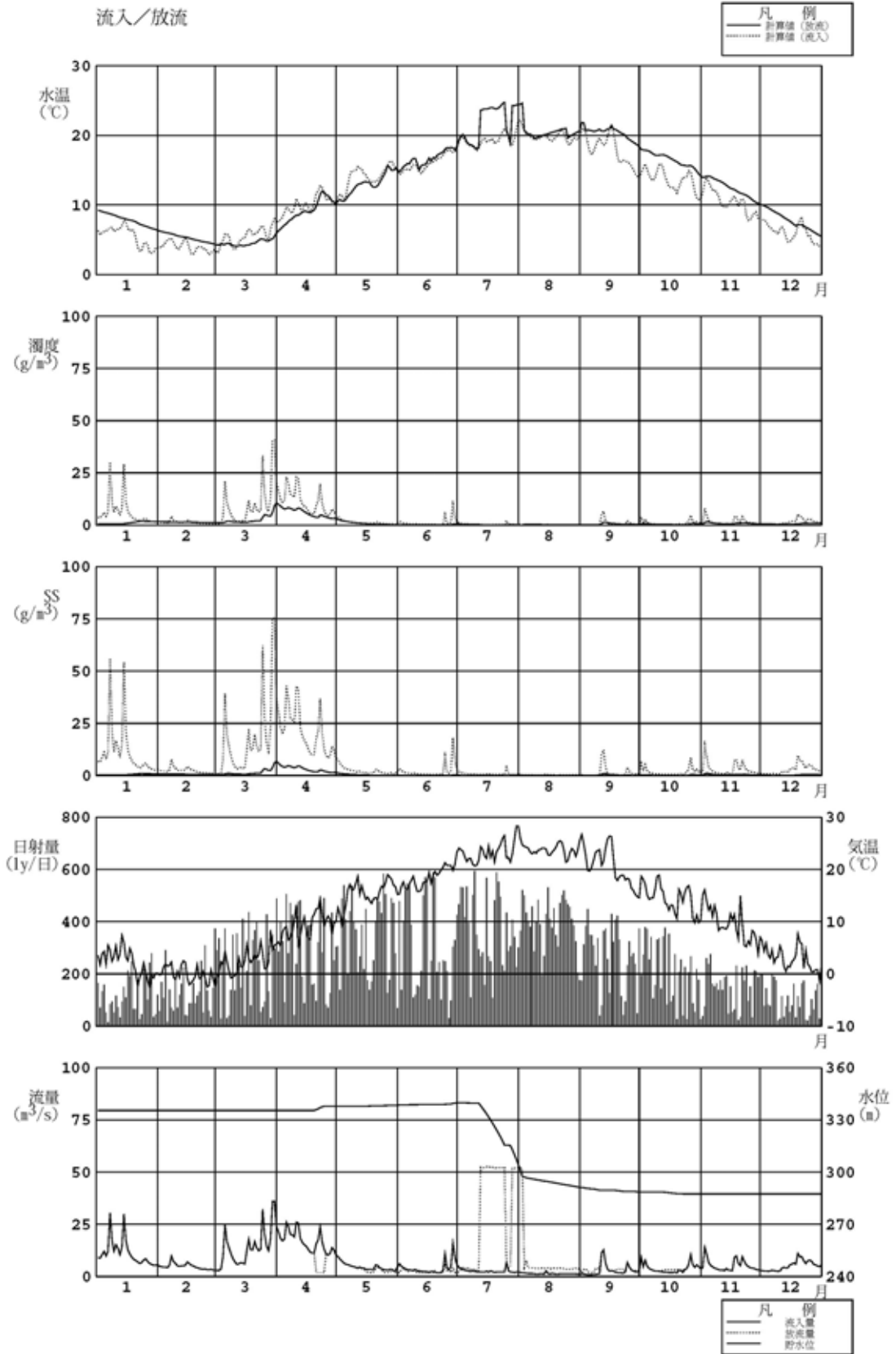


図 2.2.61 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2000年, 曝気水深=最大 70m: その1)

- ・選採取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

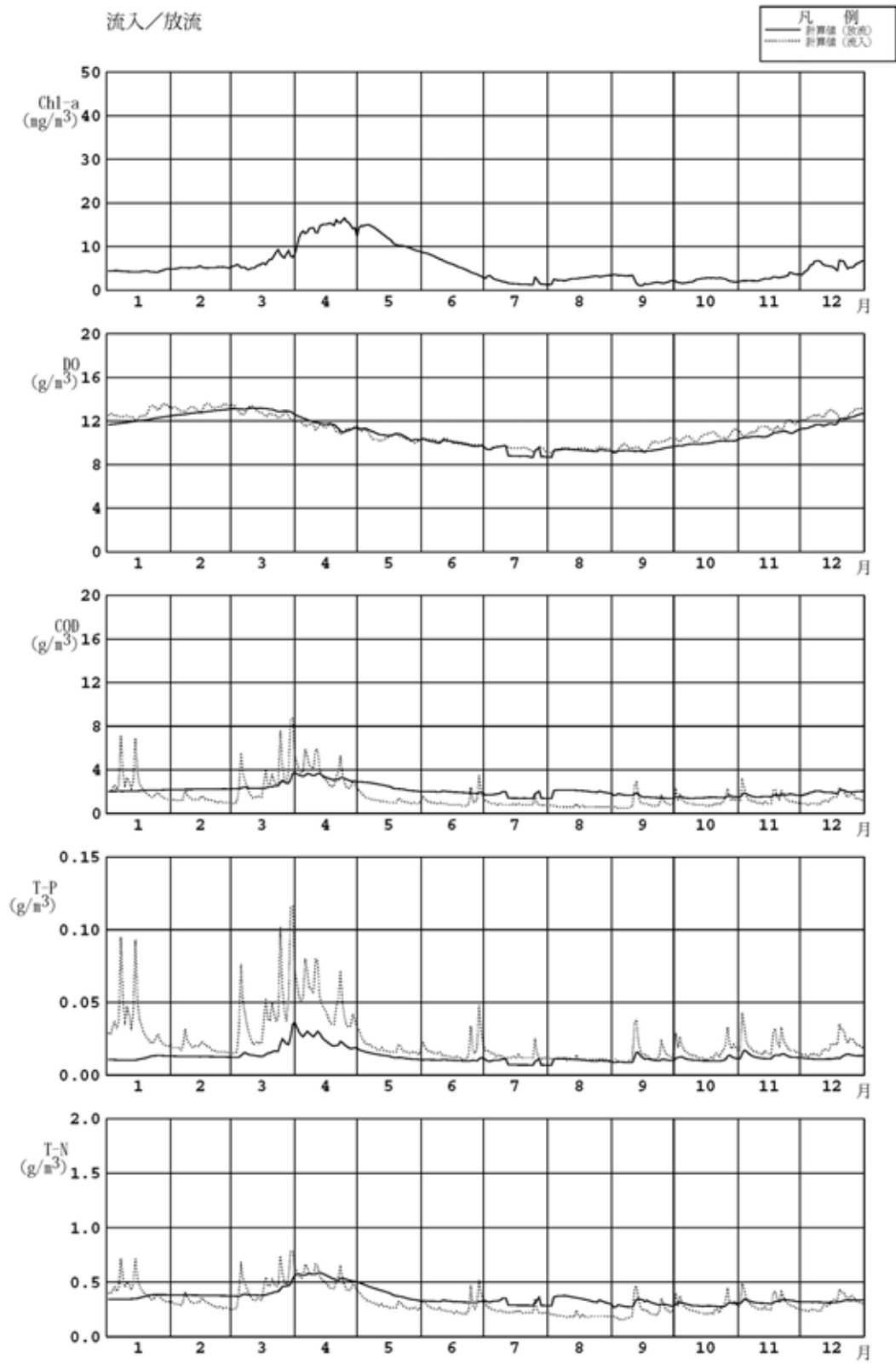


図 2.2.62 丹生ダム貯水池水質予測結果（2000年，曝気水深=最大 70m：その 2）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

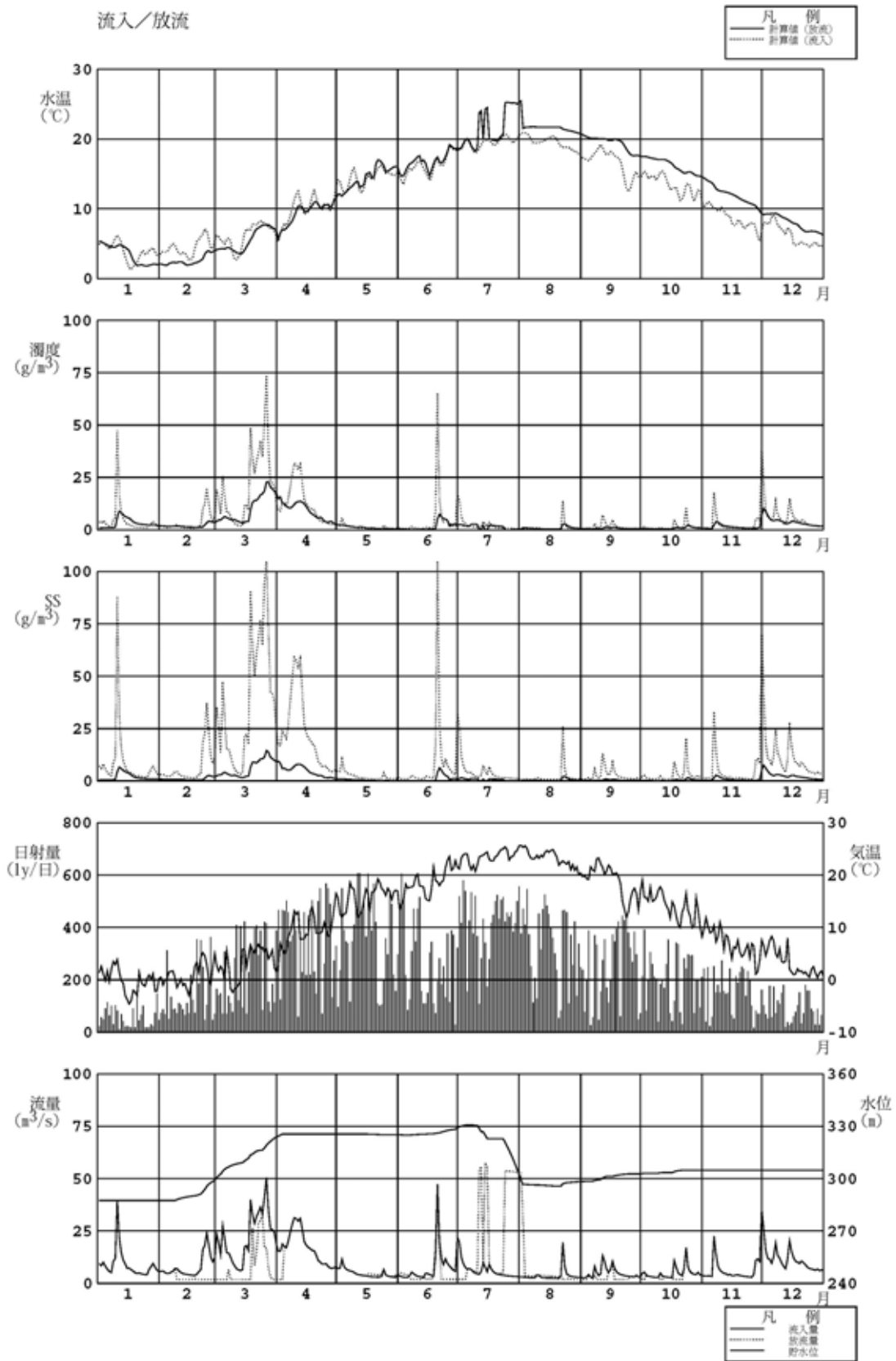


図 2.2.63 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2001 年, 曝気水深=最大 70m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 70m)

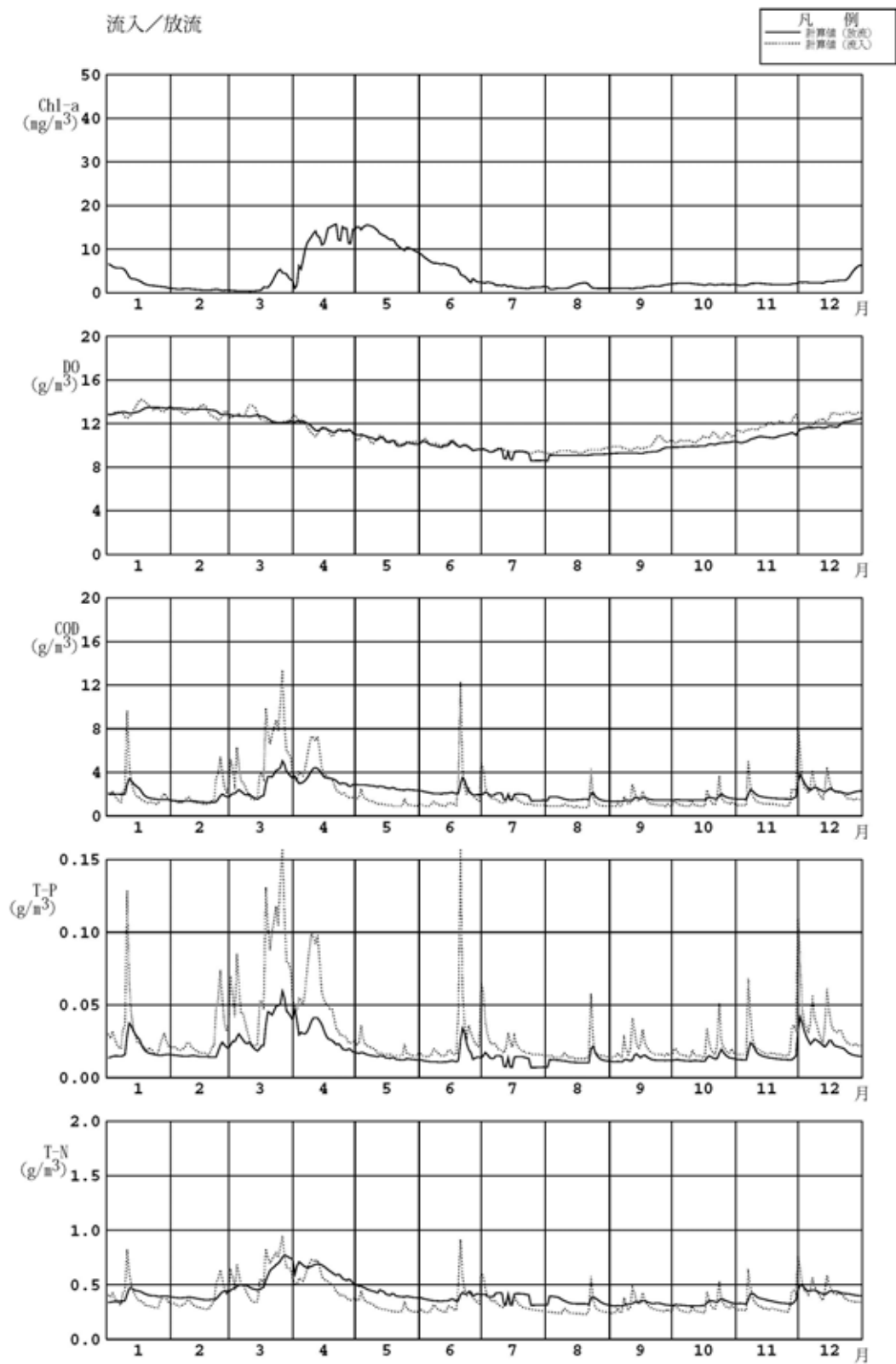


図 2.2.64 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2001 年, 曝気水深=最大 70m : その 2)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

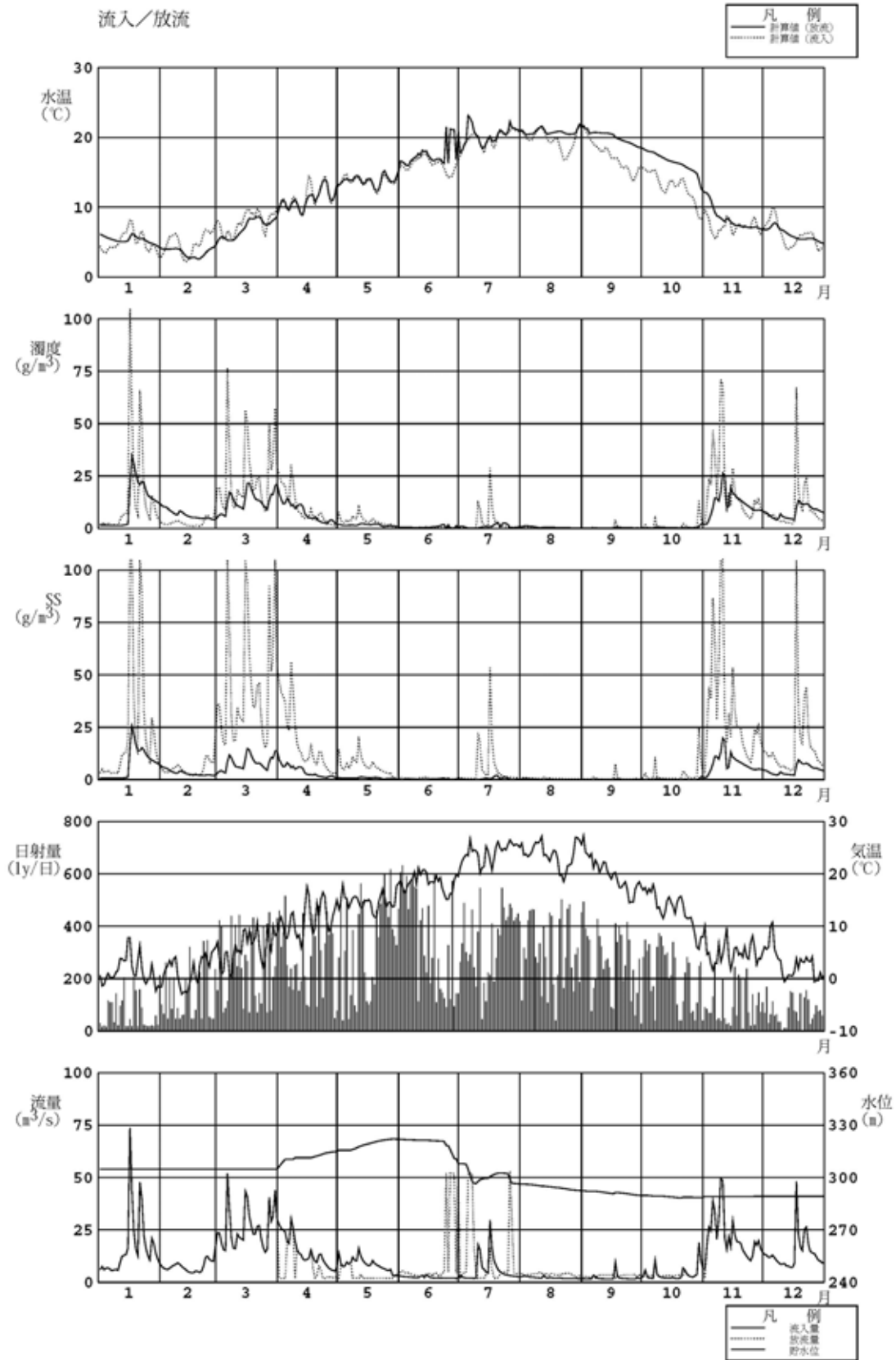


図 2.2.65 丹生ダム貯水池水質予測結果（2002年，曝気水深=最大 70m：その1）

- ・選取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 70m）

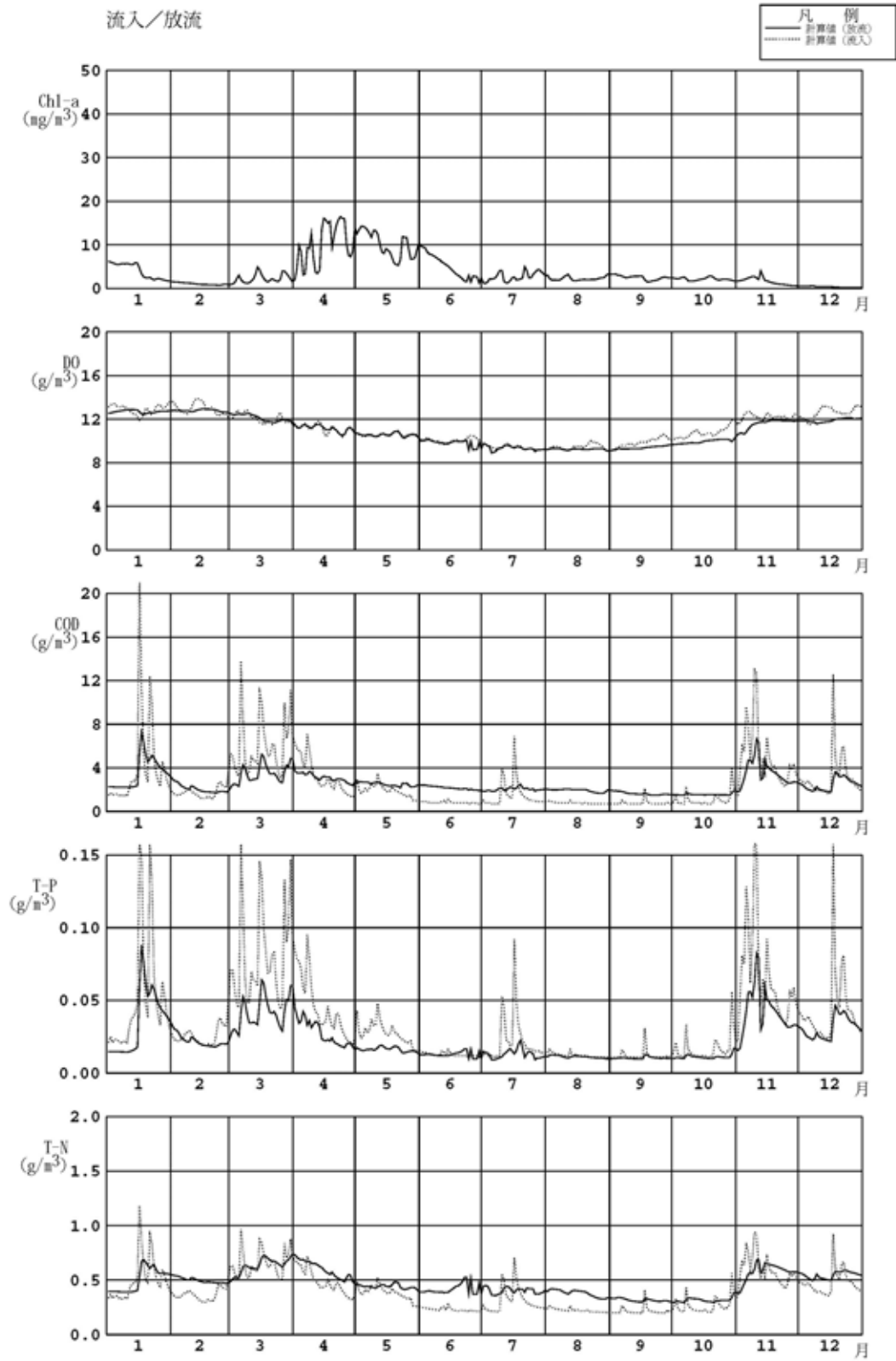


図 2.2.66 丹生ダム貯水池水質予測結果（2002 年，曝気水深=最大 70m：その 2）

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

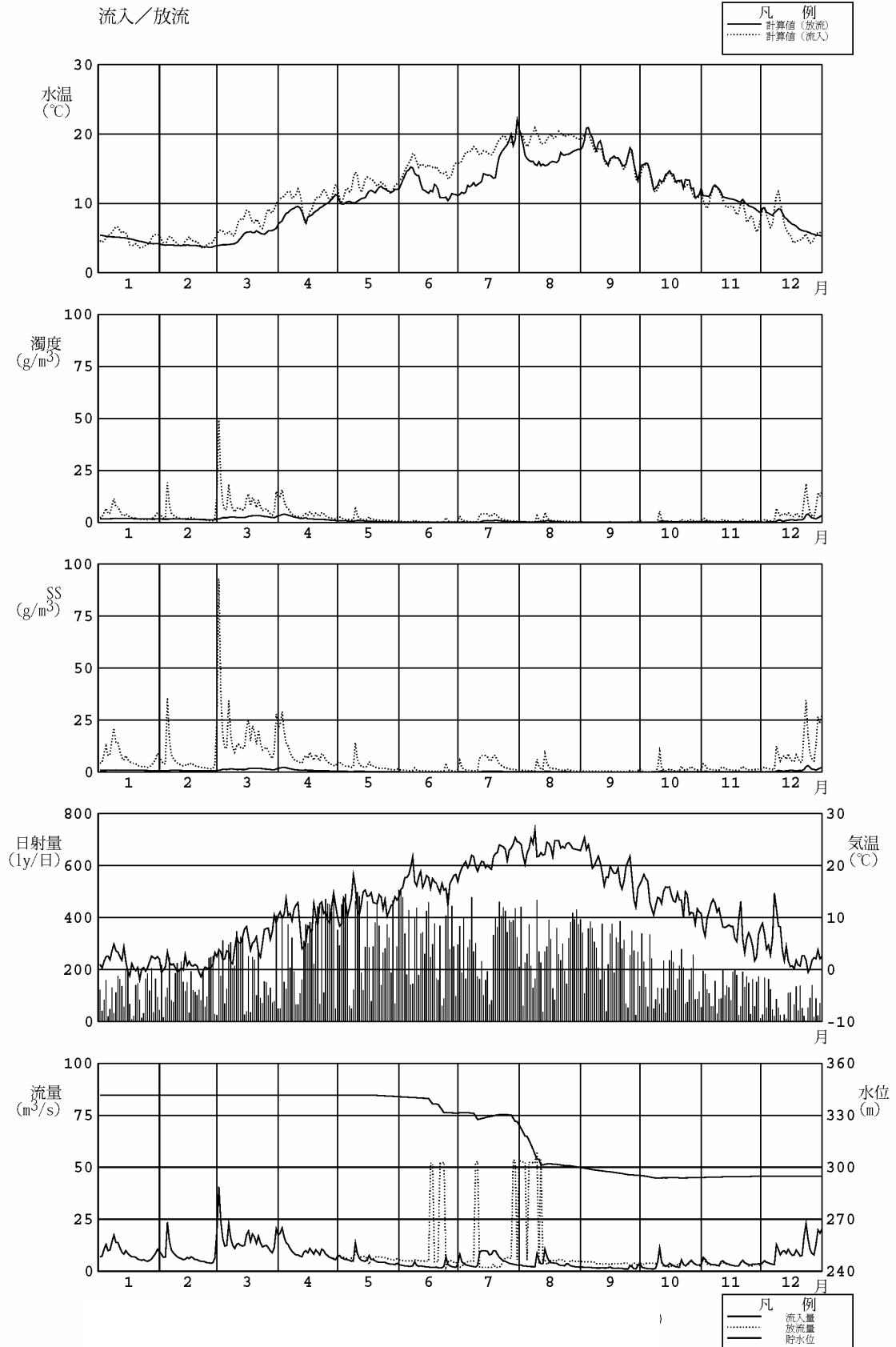


図 2.2.67 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1992 年, 曝気水深=最大 55m: その 1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

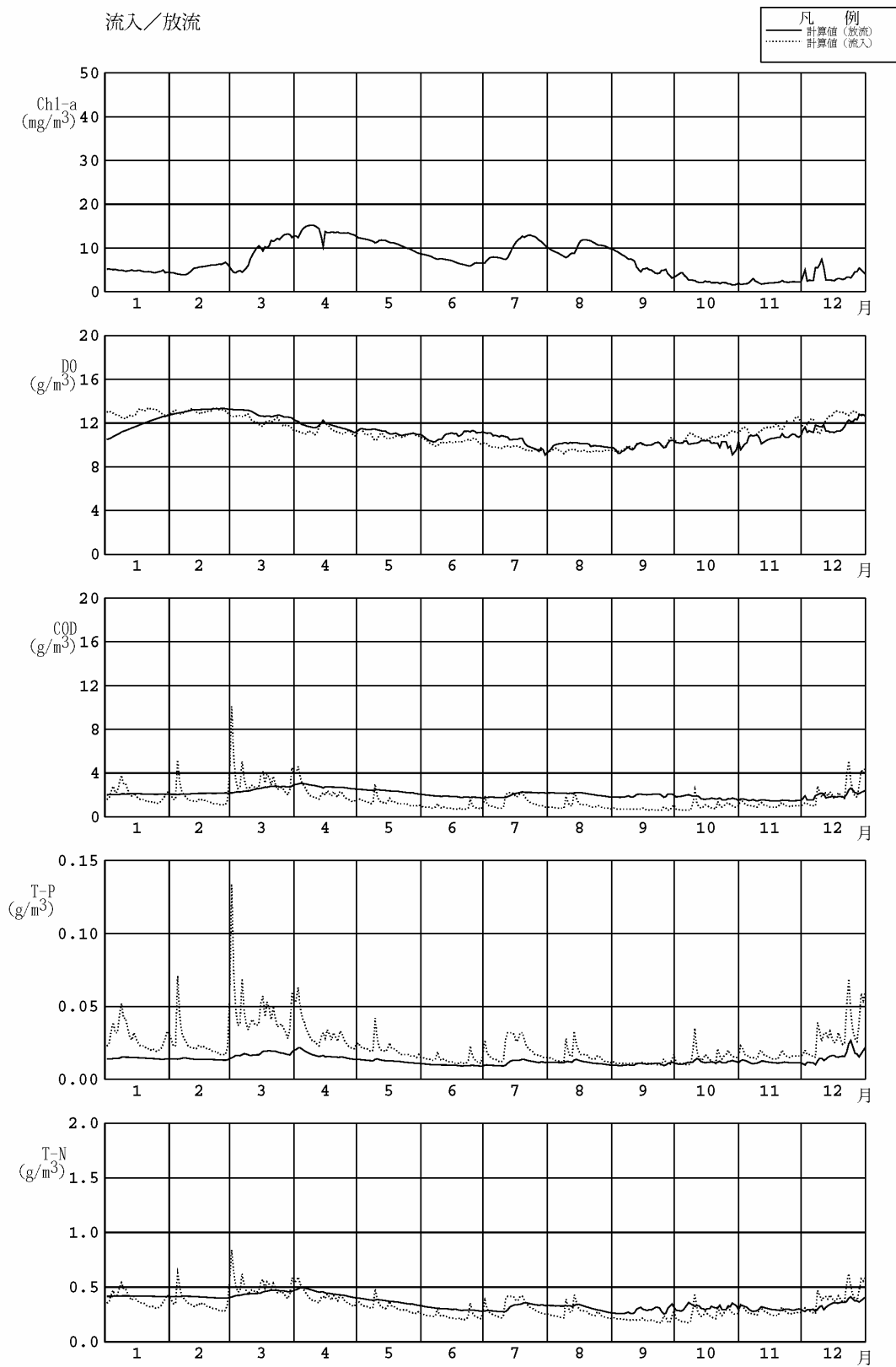


図 2.2.68 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1992 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

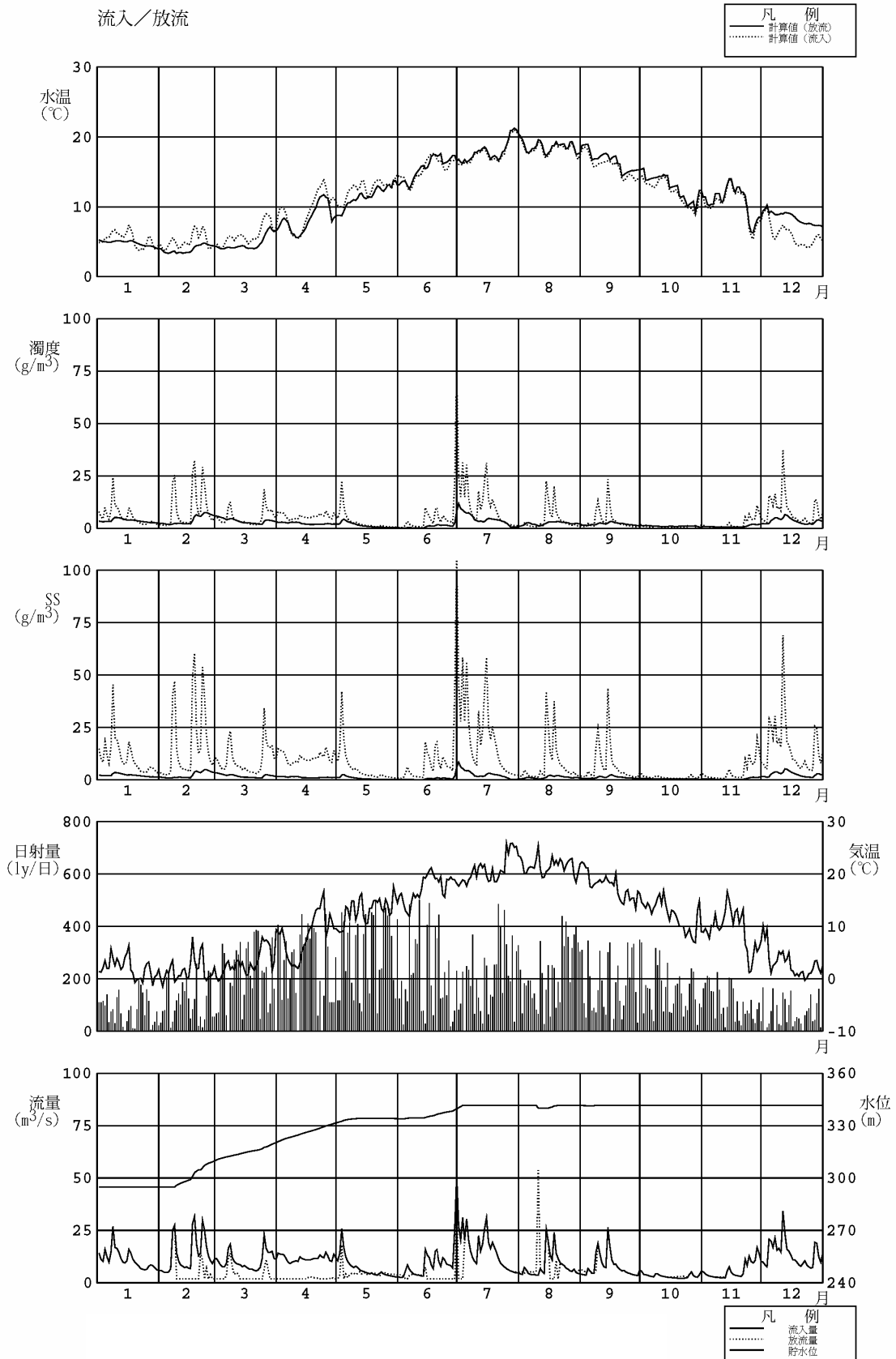


図 2.2.69 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1993 年, 曝気水深=最大 55m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

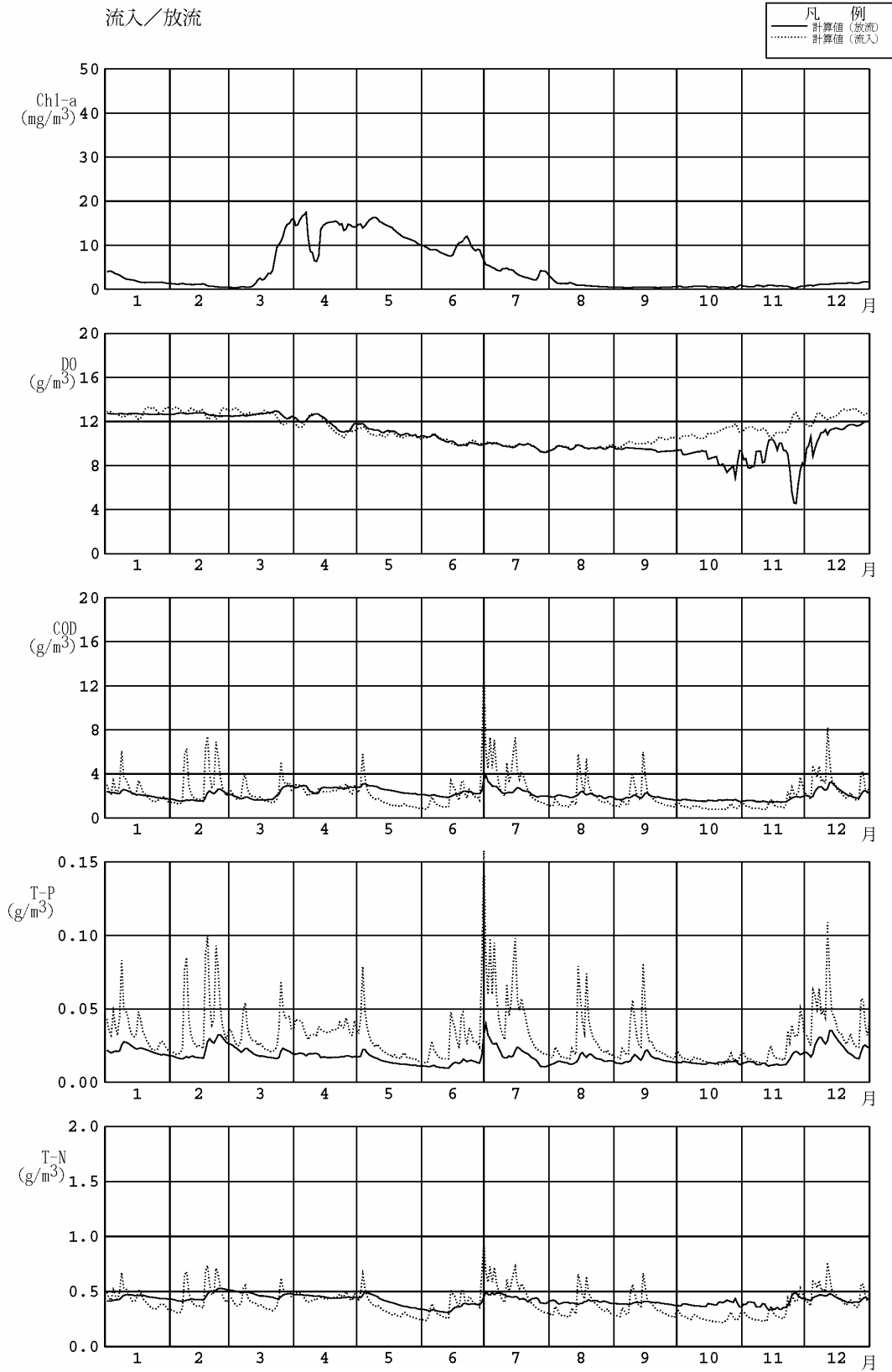


図 2.2.70 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1993 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

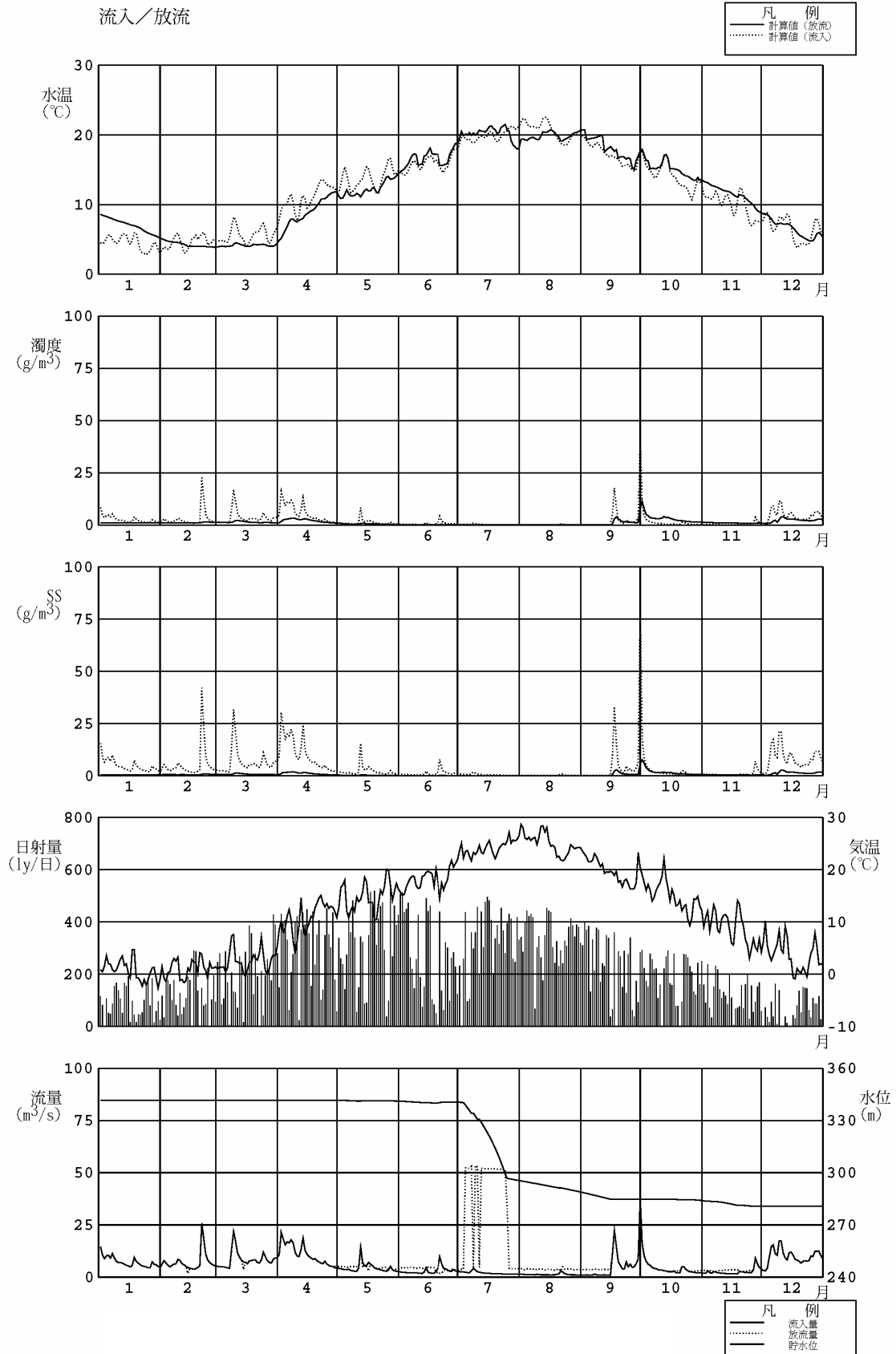


図 2.2.71 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1994 年, 曝気水深=最大 55m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

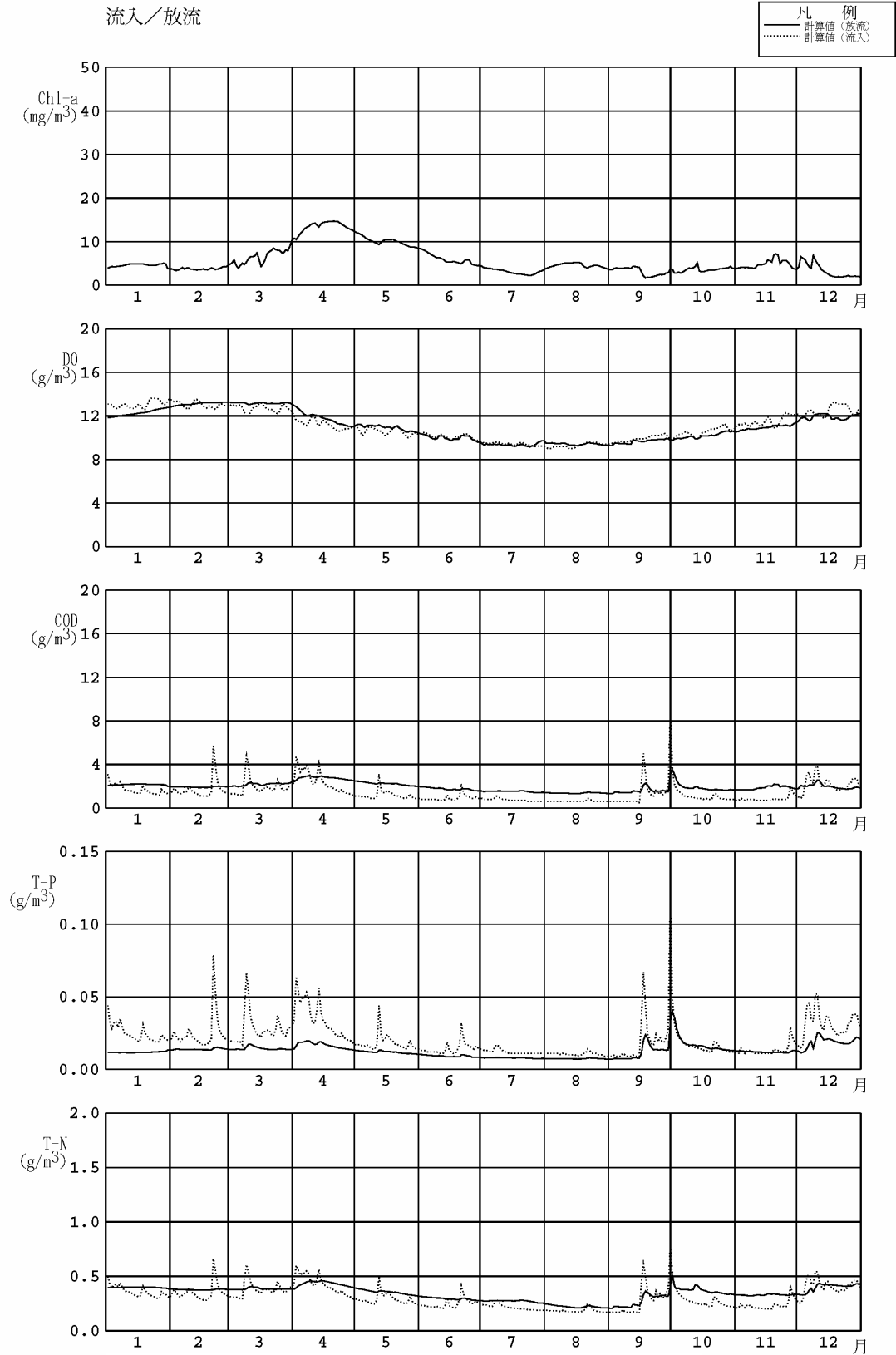


図 2.2.72 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1994 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 55m）

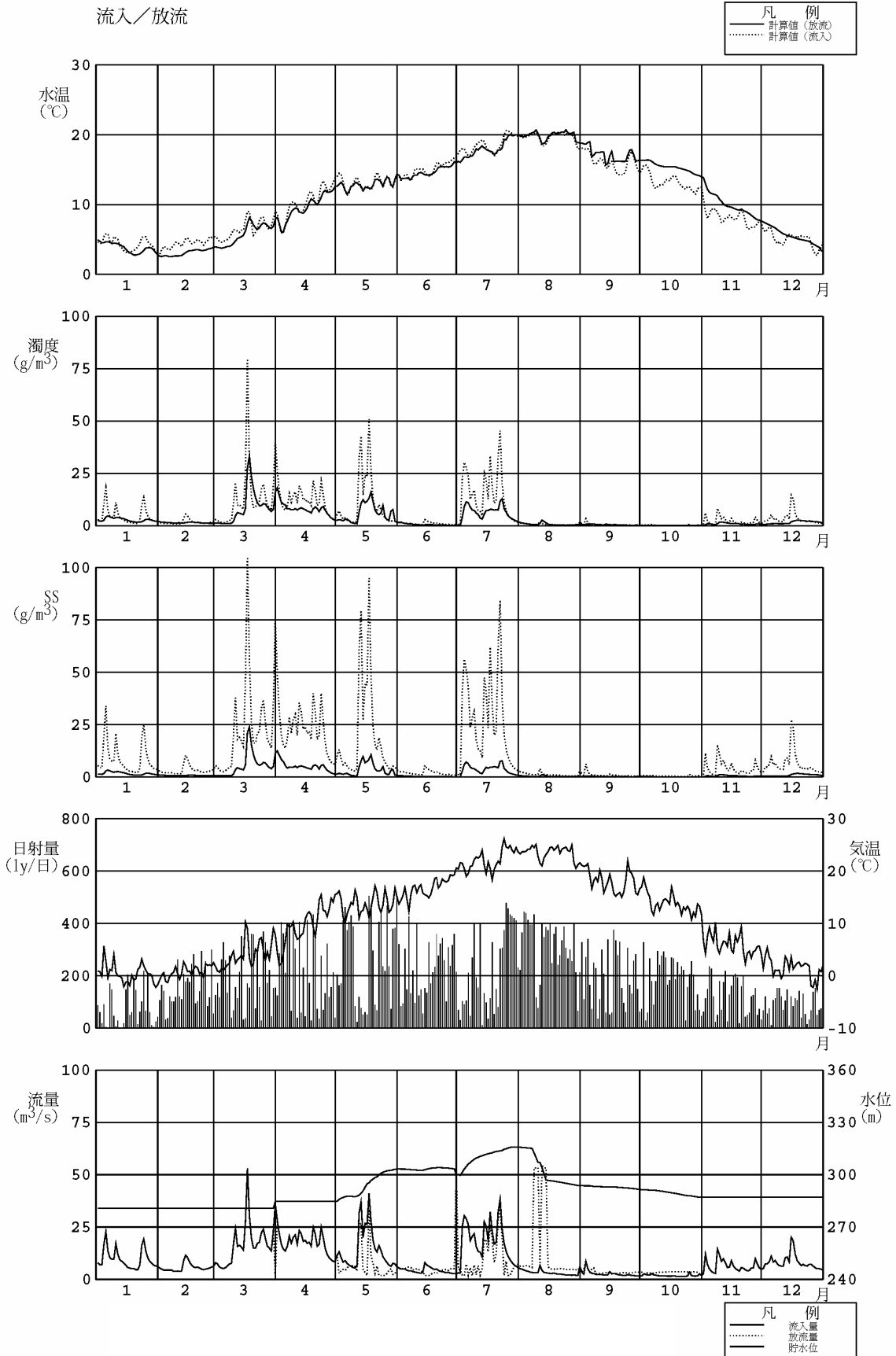


図 2.2.73 丹生ダム貯水池水質予測結果（1995 年，曝気水深=最大 55m：その 1）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

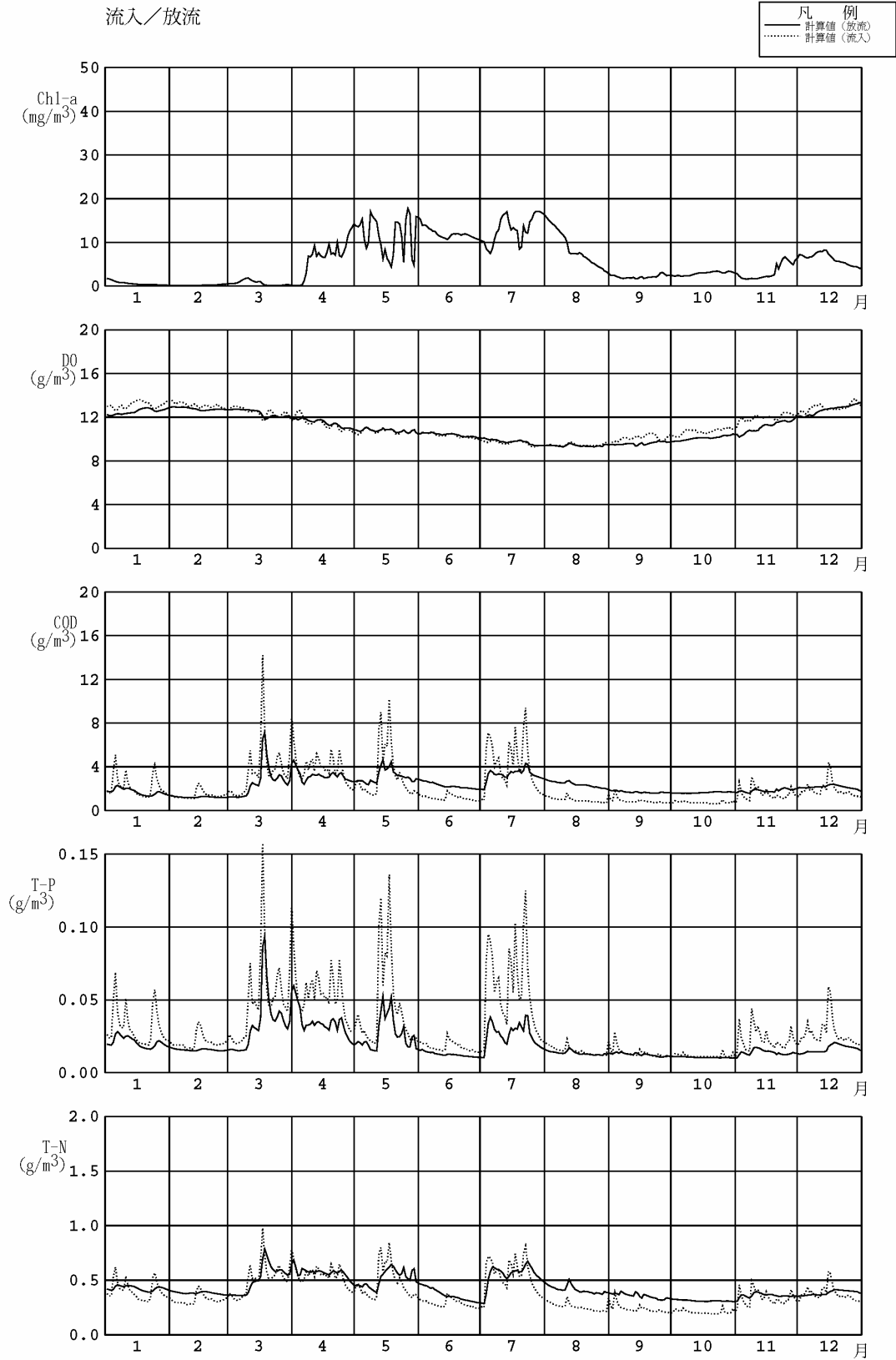


図 2.2.74 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1995 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 55m）

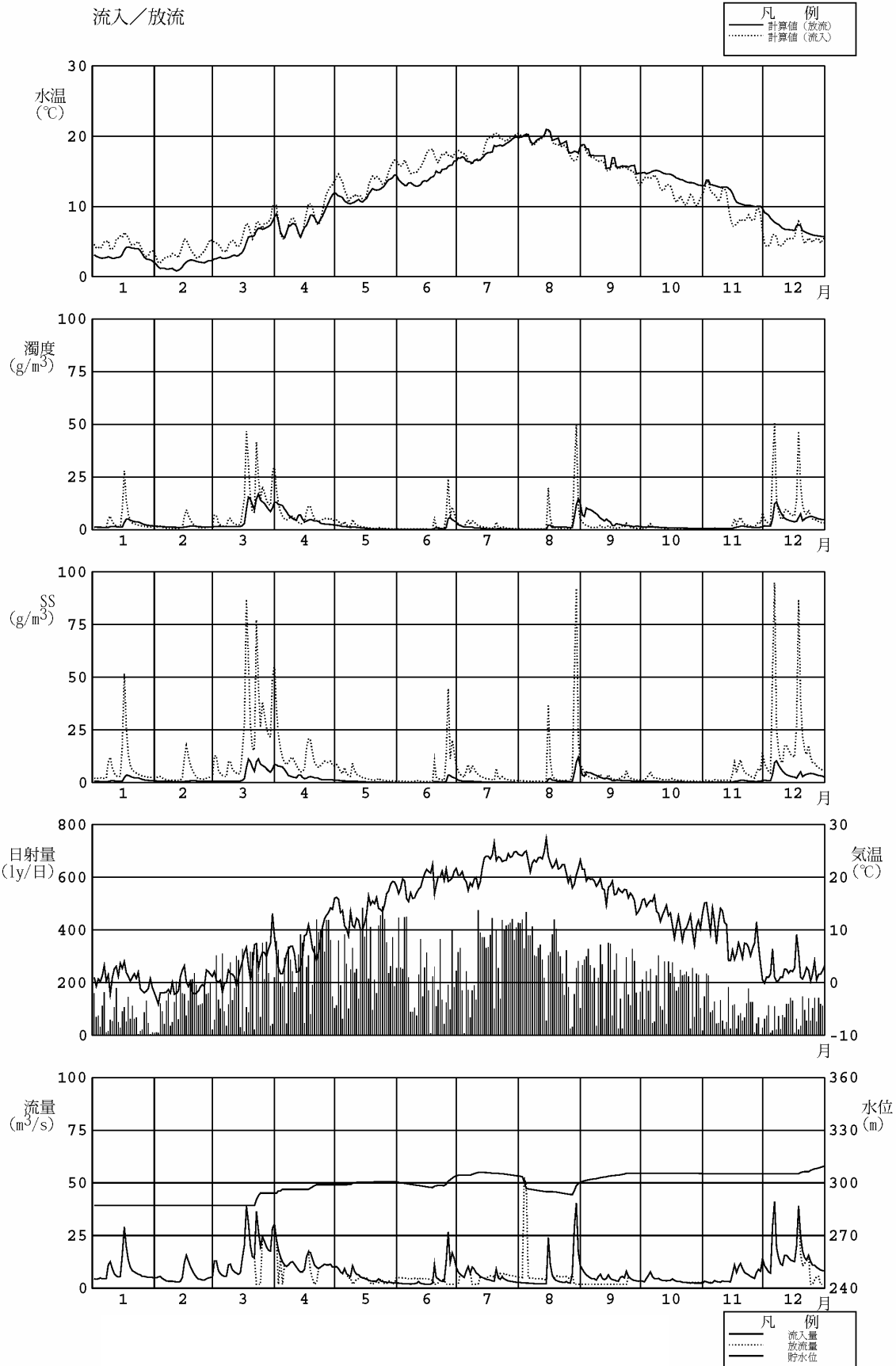


図 2.2.75 丹生ダム貯水池水質予測結果（1996年，曝気水深=最大 55m：その 1）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

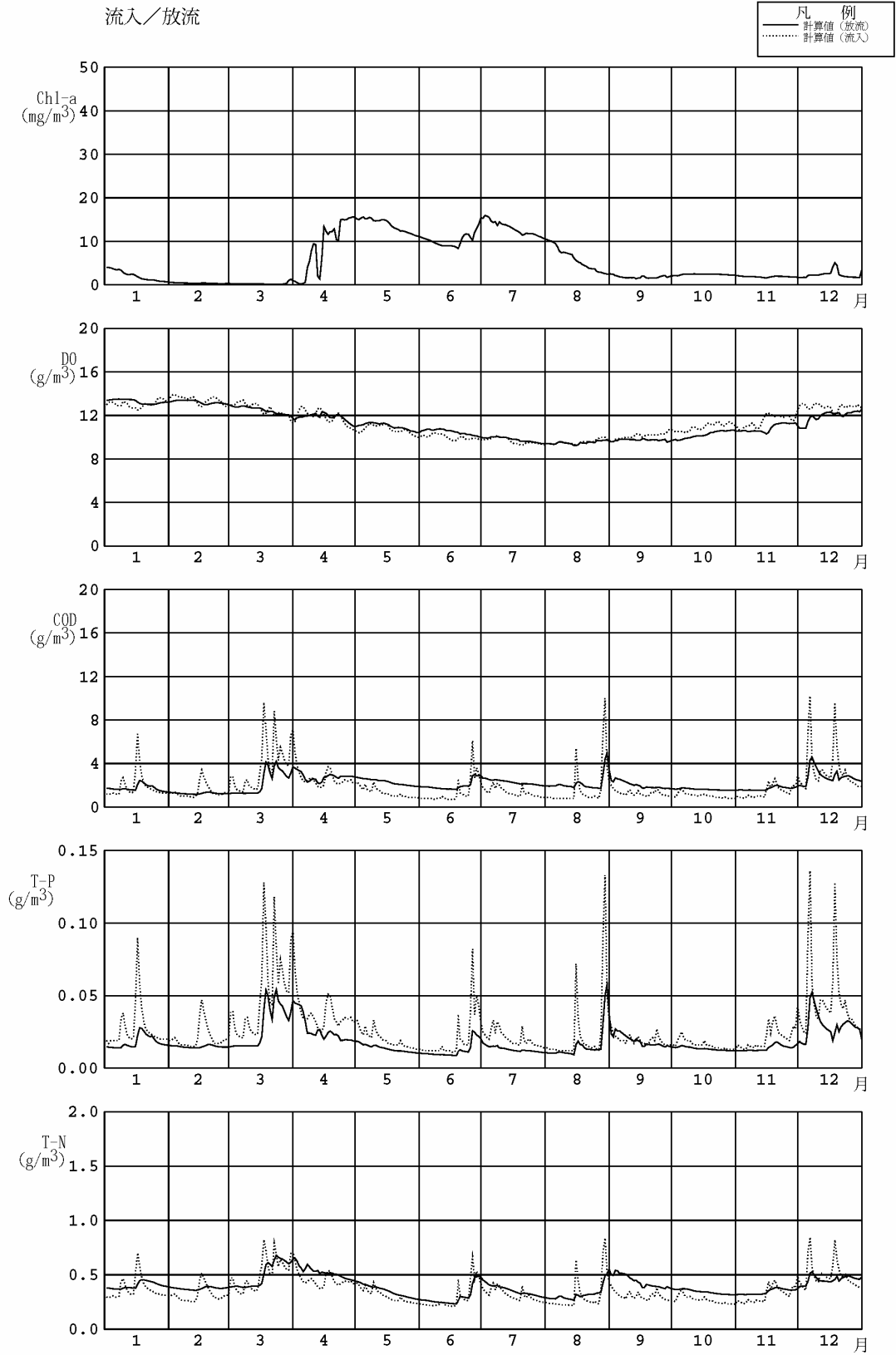


図 2.2.76 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1996年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

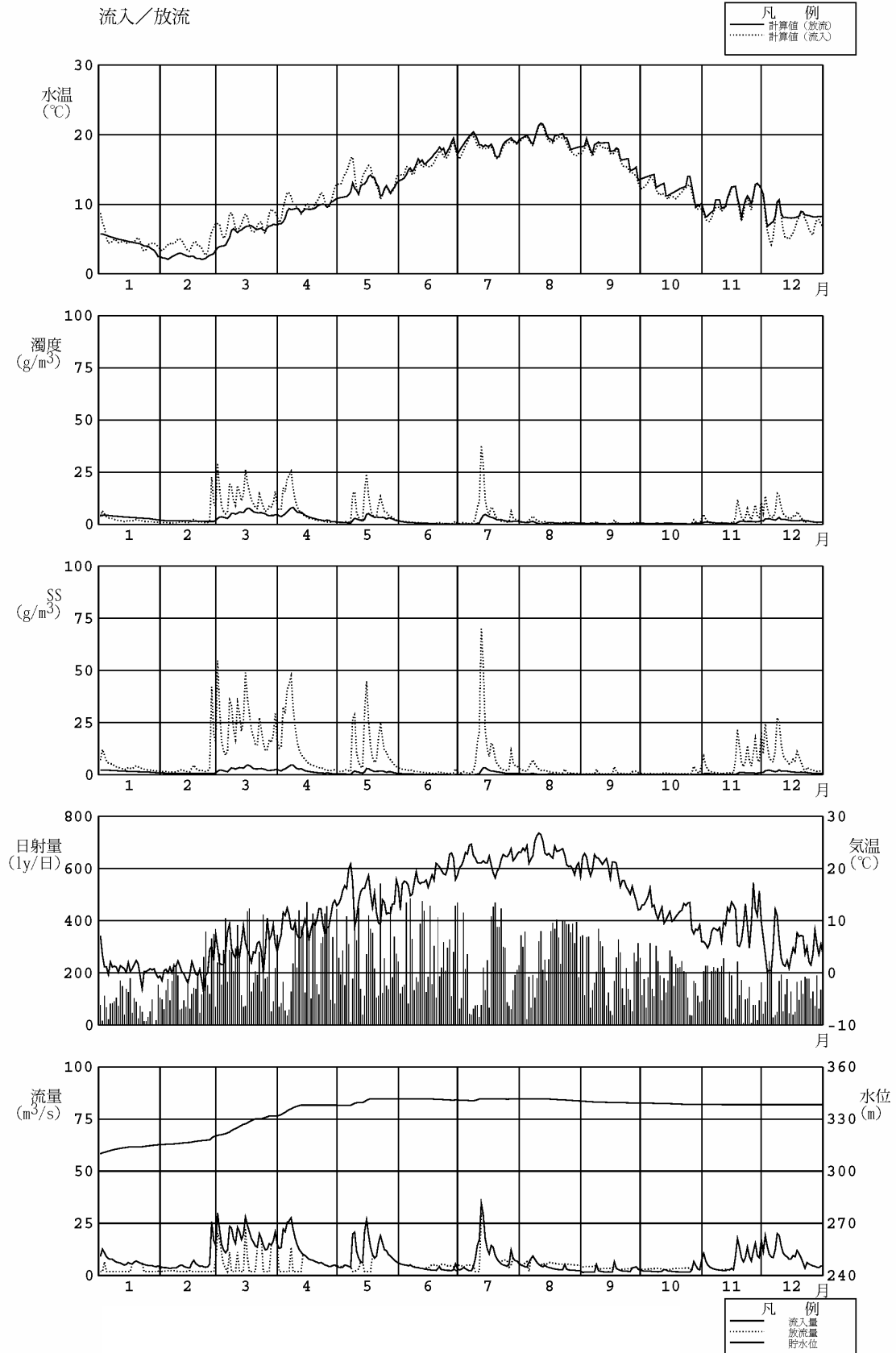


図 2.2.77 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1997 年, 曝気水深=最大 55m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

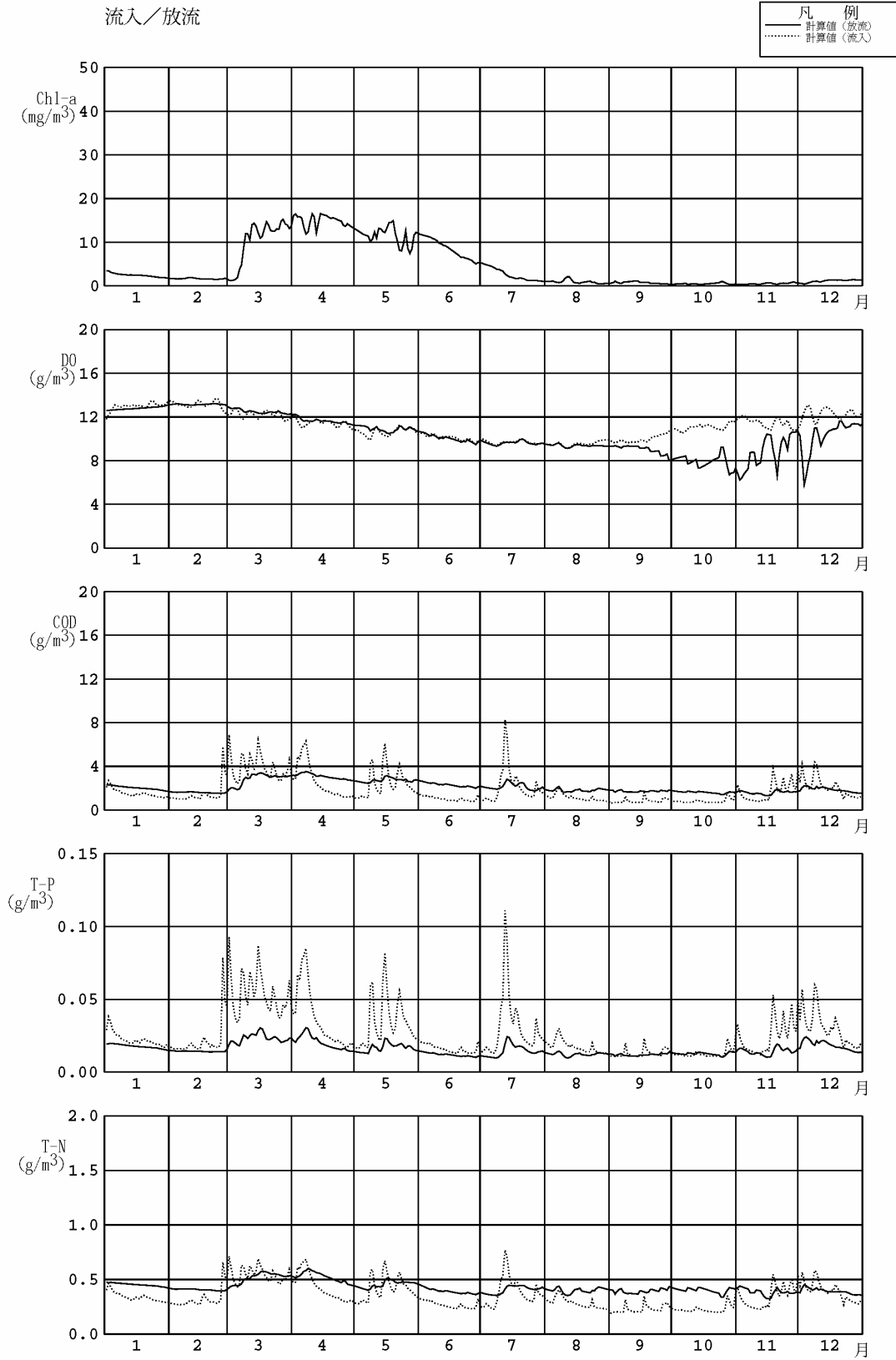


図 2.2.78 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1997 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

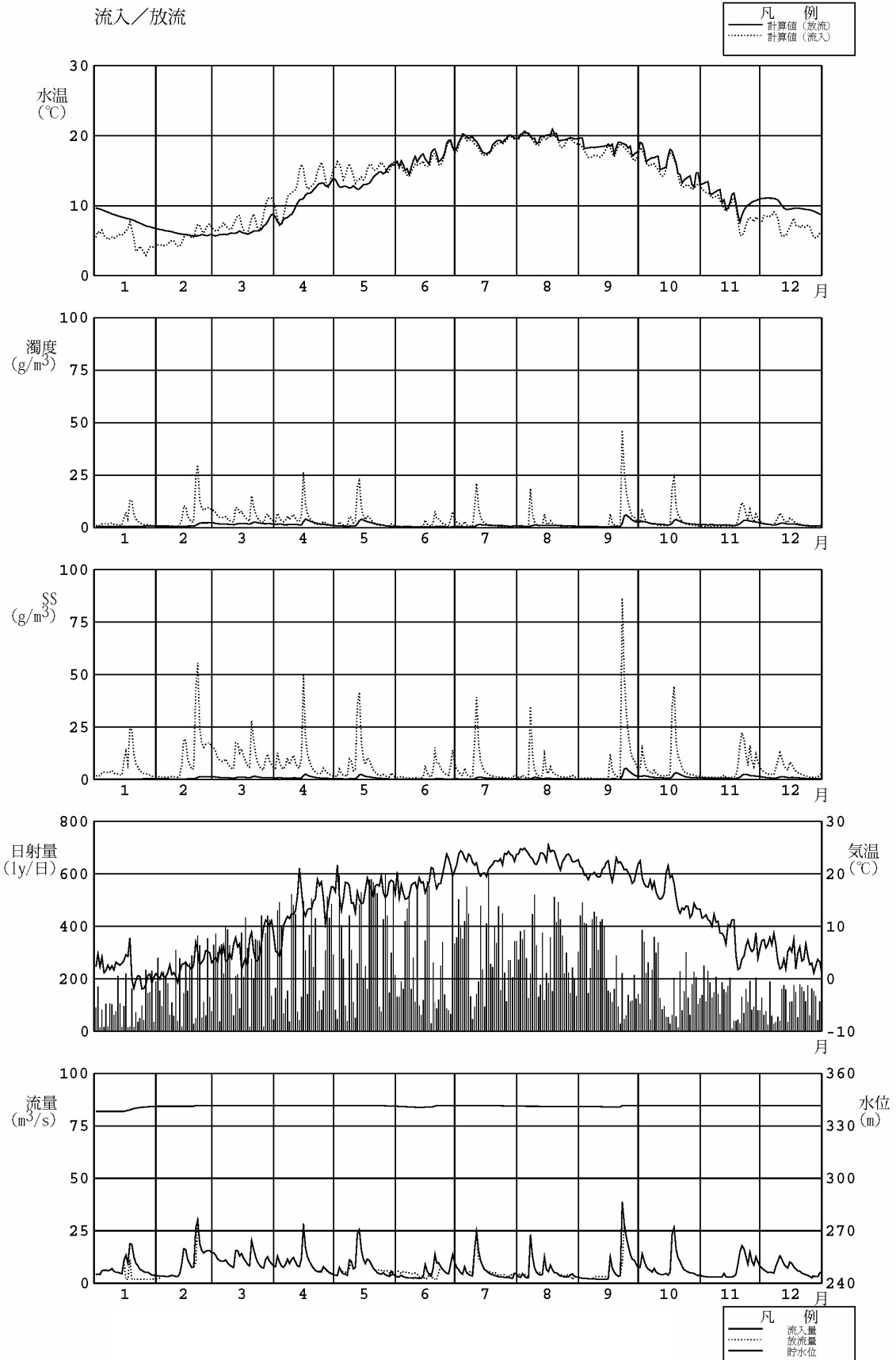


図 2.2.79 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1998年, 曝気水深=最大 55m : その1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

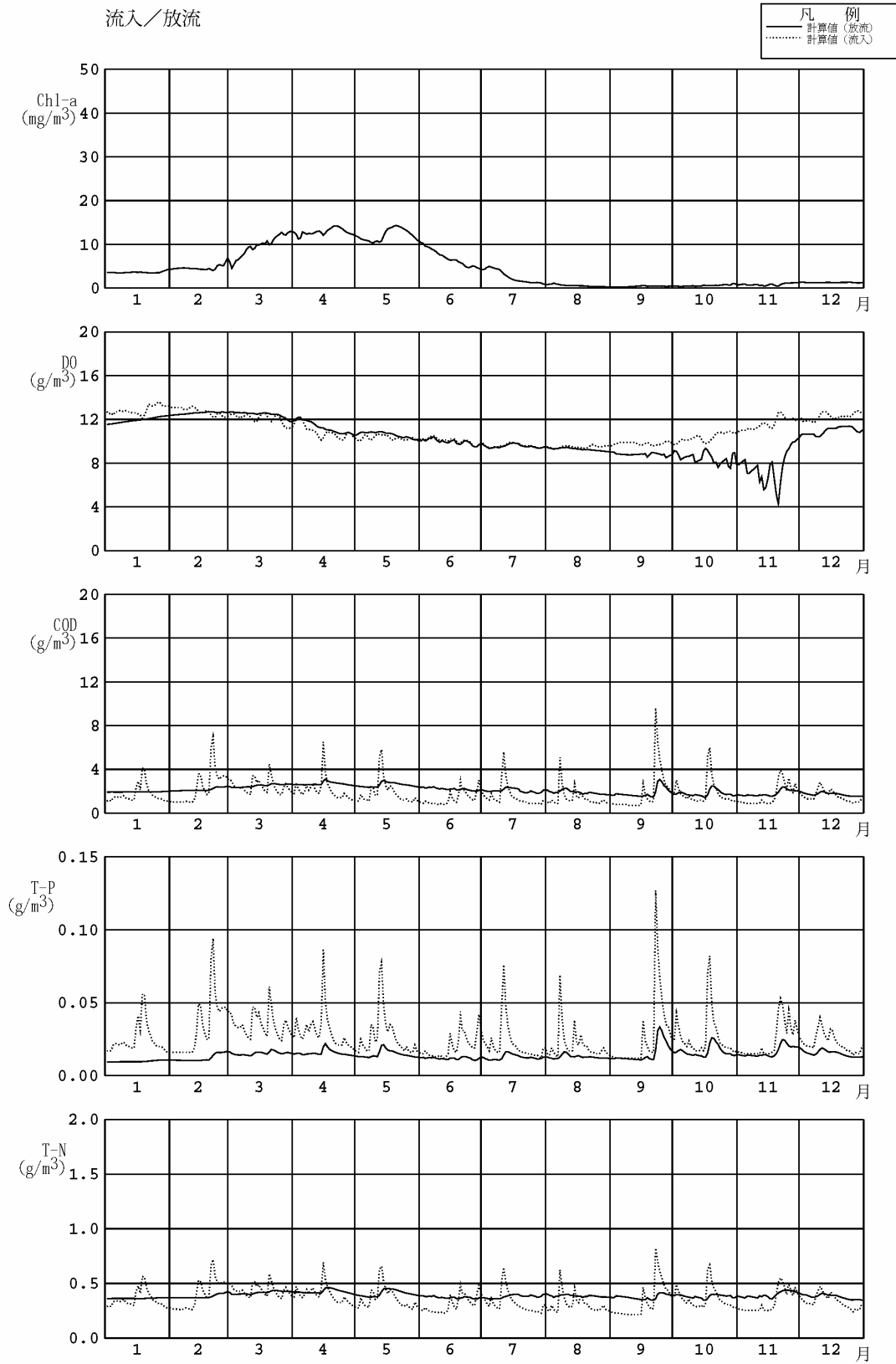


図 2.2.80 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1998 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

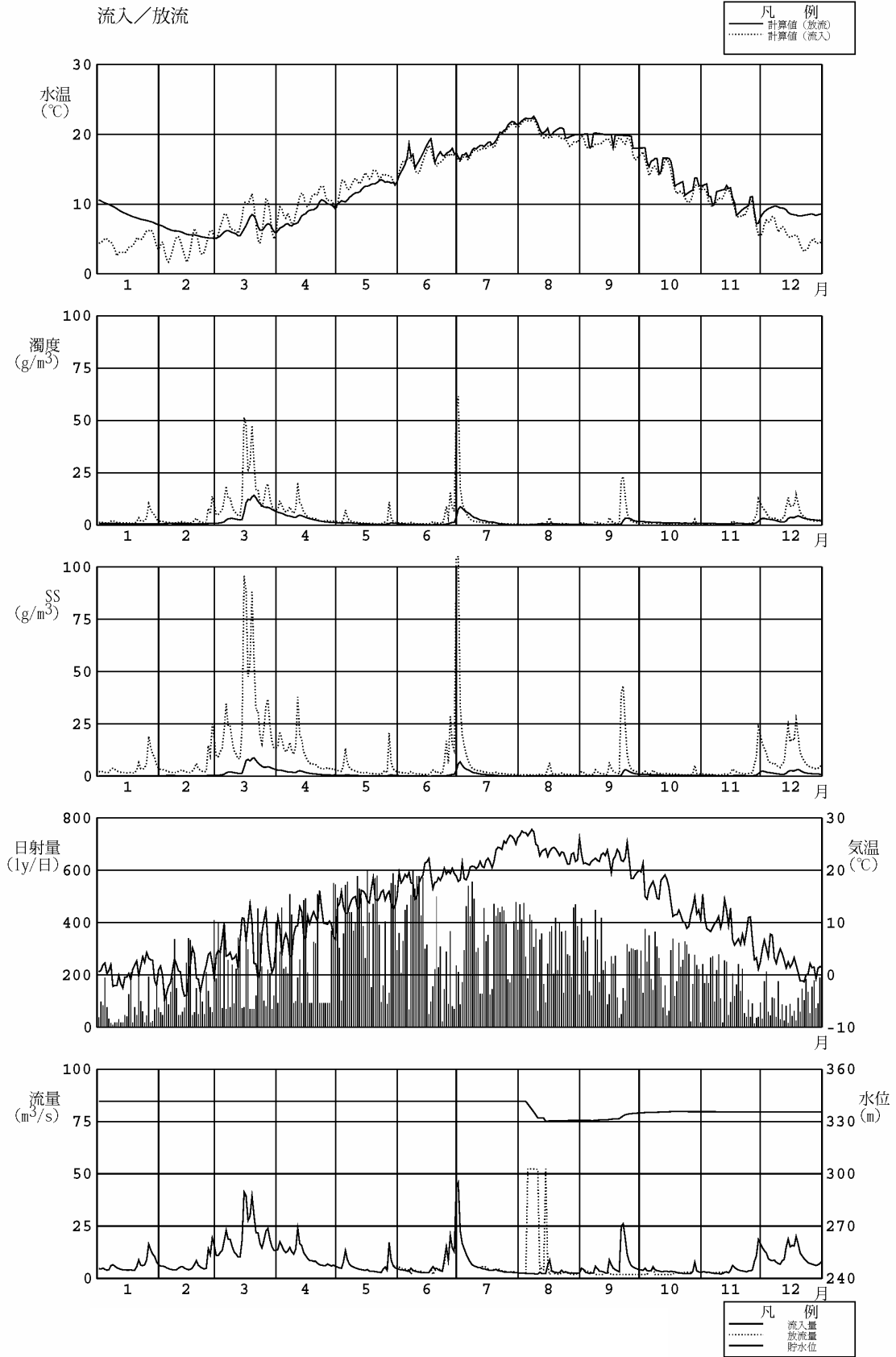


図 2.2.81 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1999年, 曝気水深=最大 55m : その1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

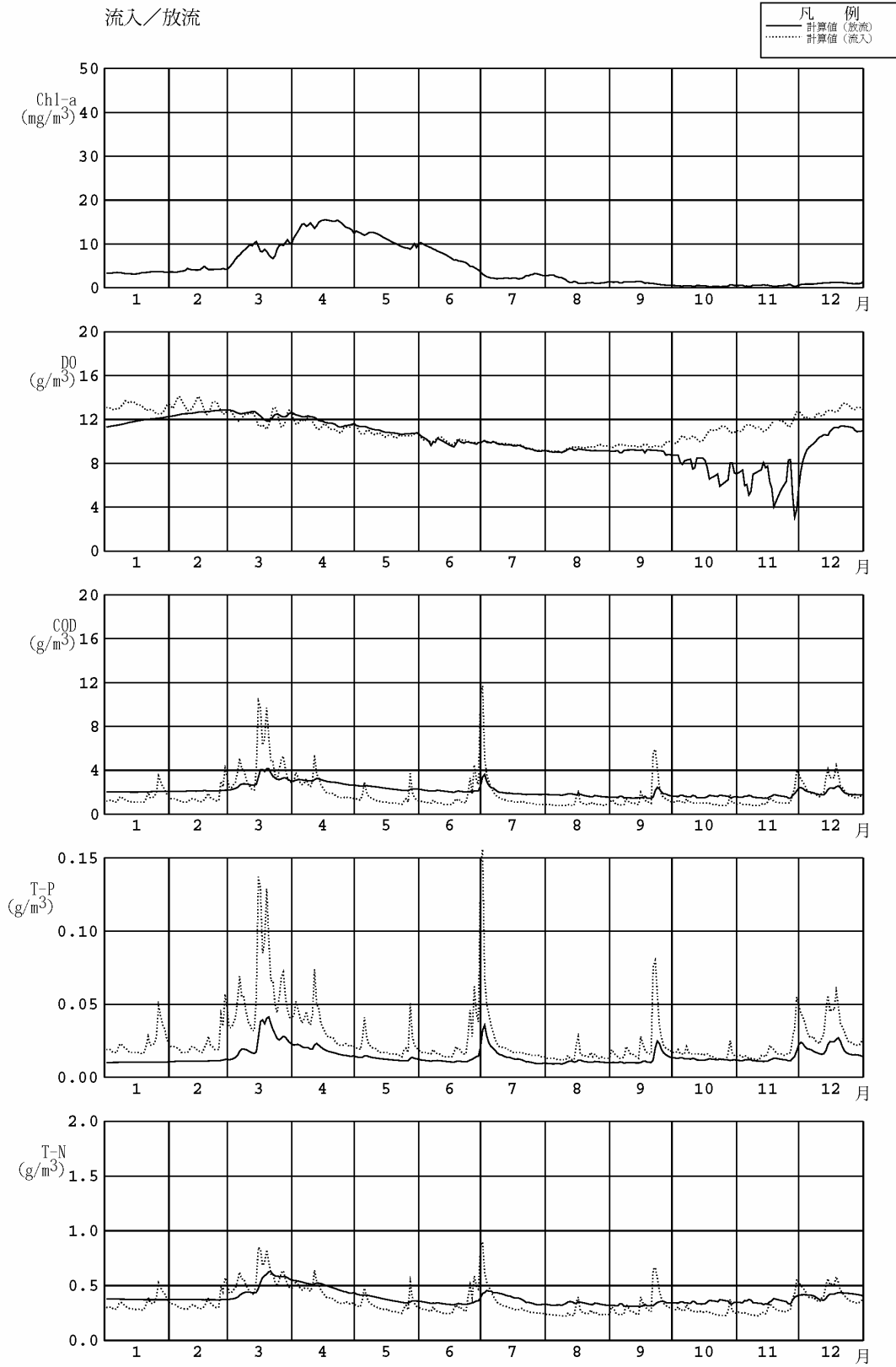
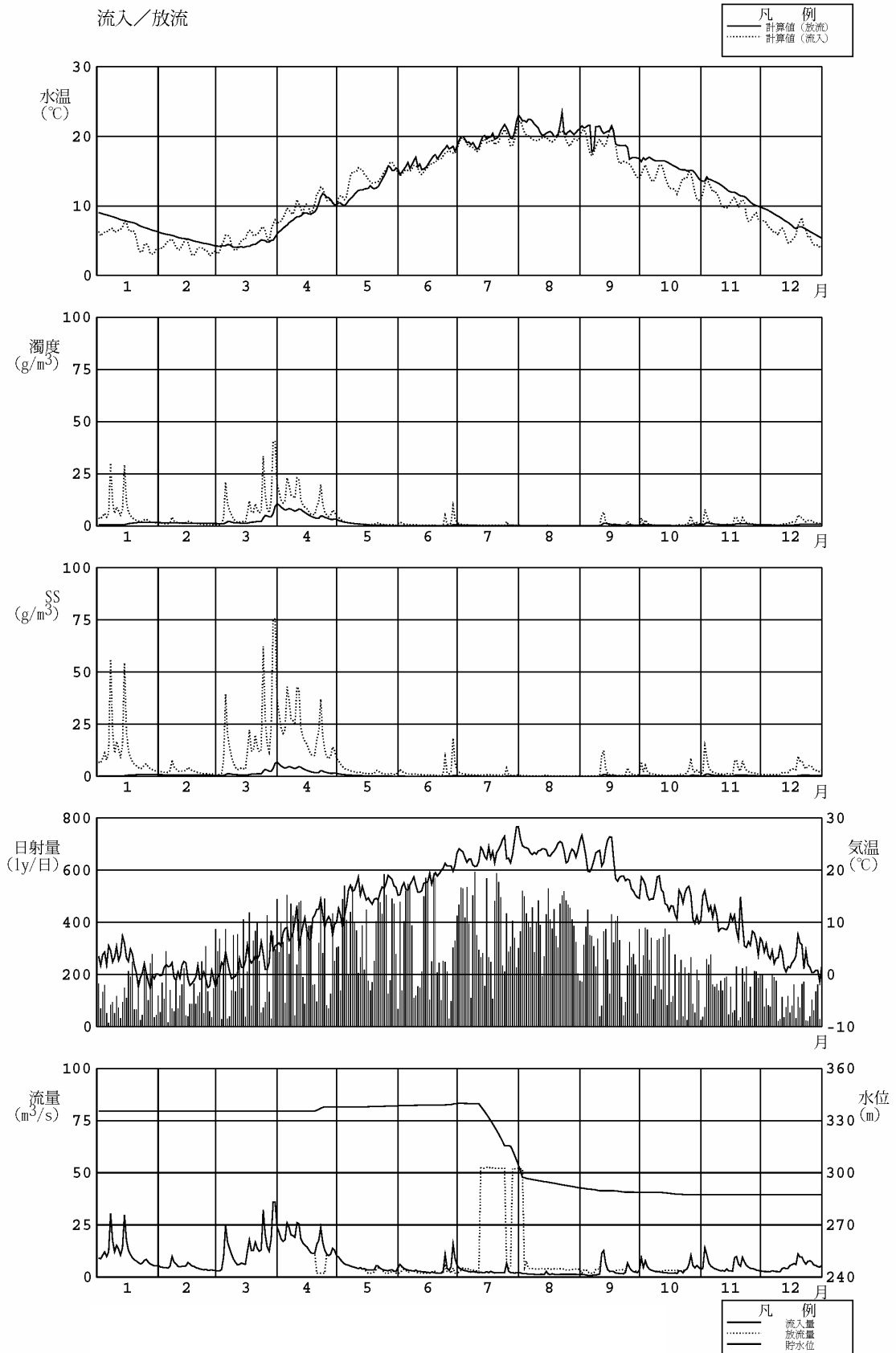


図 2.2.82 丹生ダム貯水池水質予測結果 (1999年, 曝気水深=最大 55m: その2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)



☒ 2.2.83 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2000年, 曝気水深=最大 55m : その1)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

流入/放流

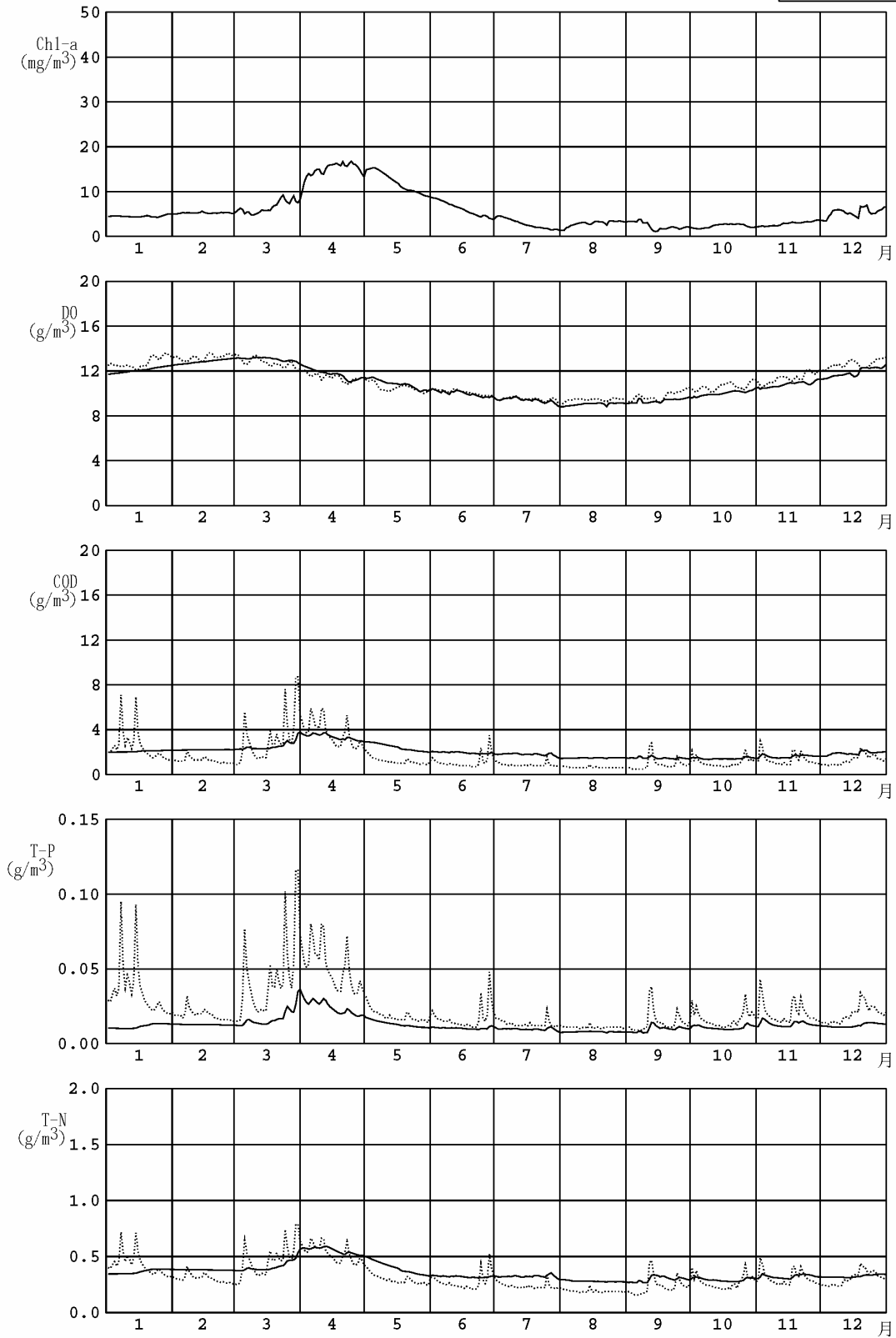
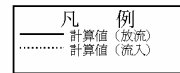


図 2.2.84 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2000年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

- ・選択取水設備運用
- ・環境放流条件考慮
- ・曝気設備運用（曝気水深 = 最大 55m）

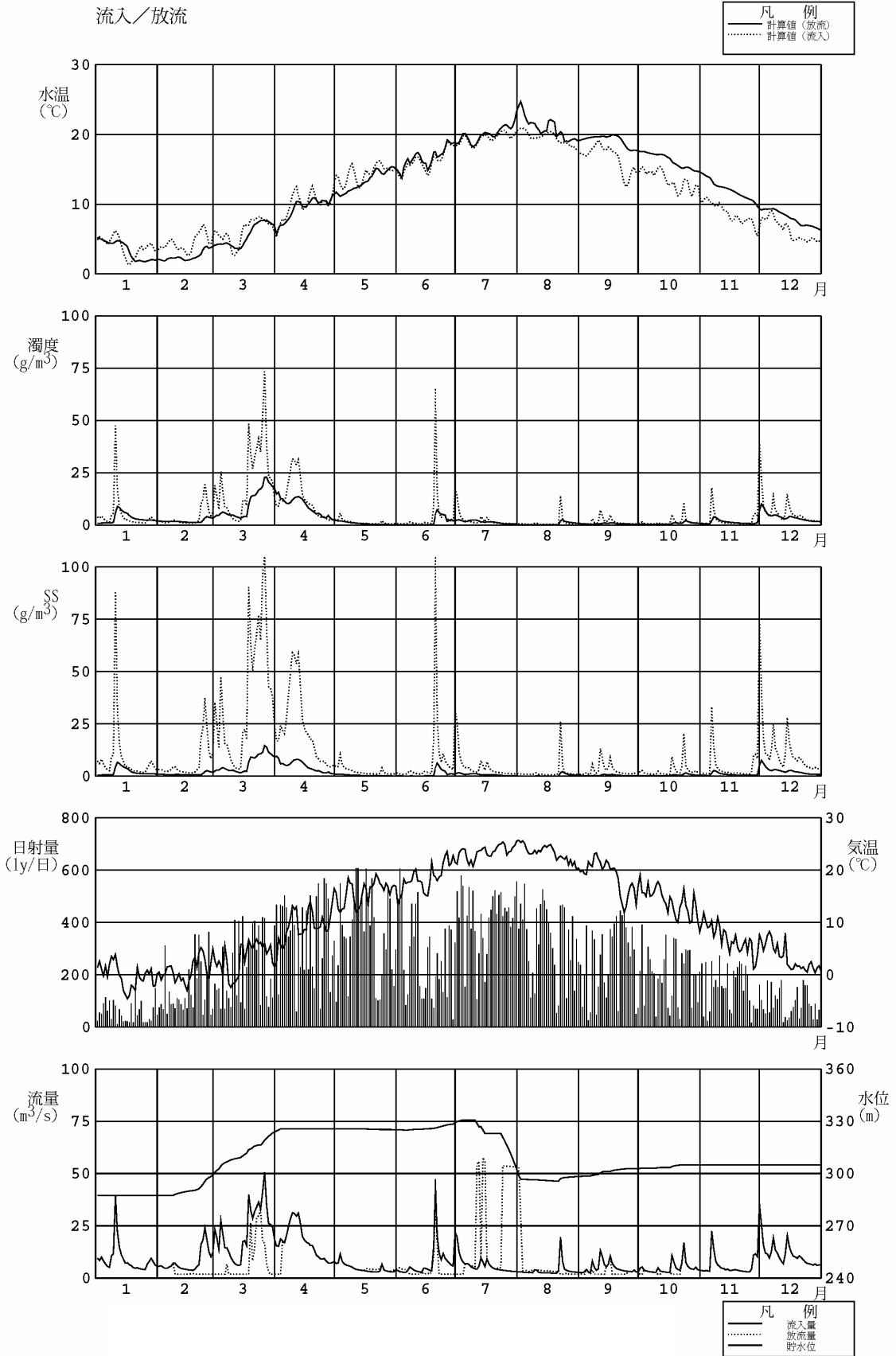
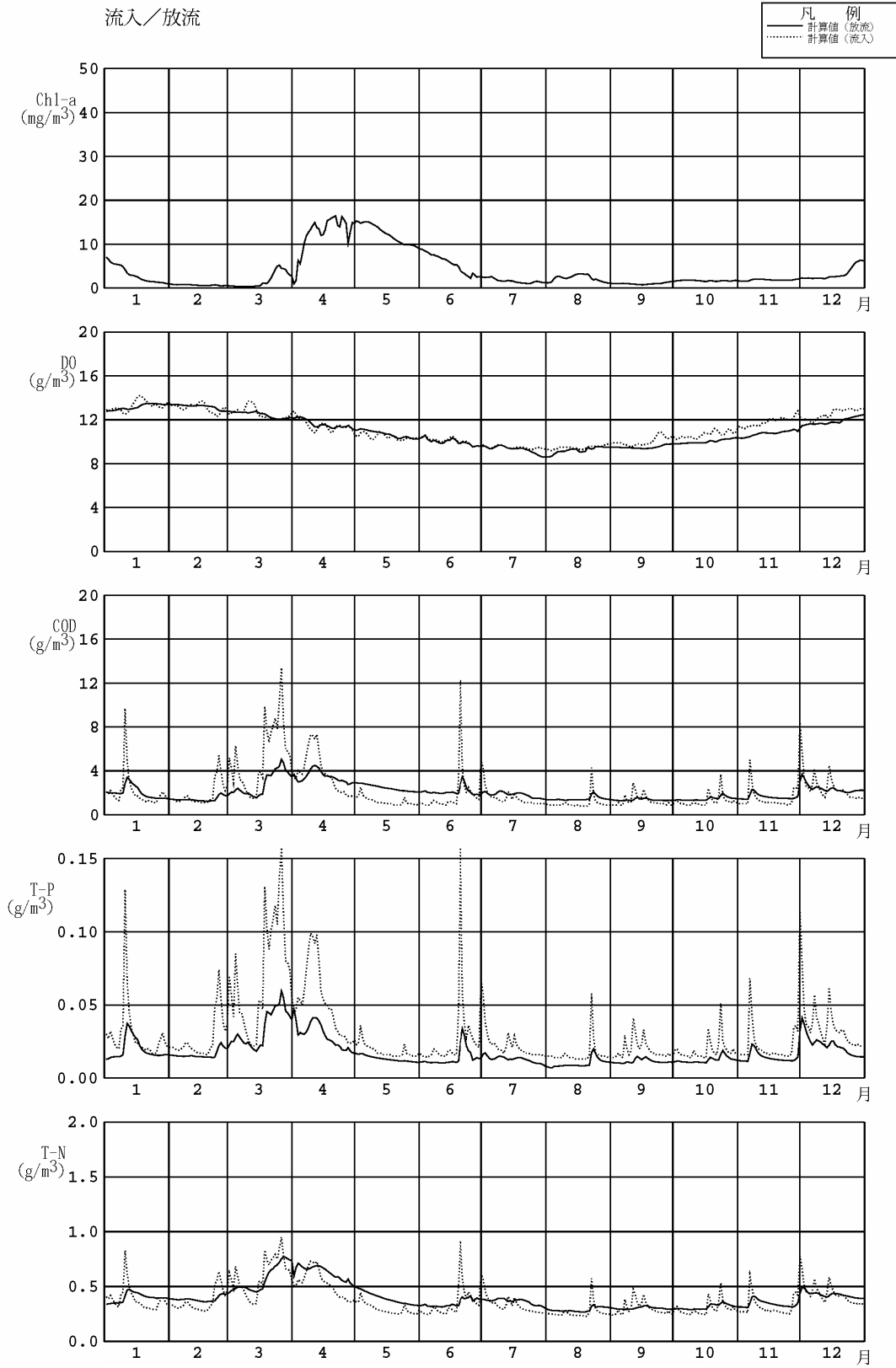


図 2.2.85 丹生ダム貯水池水質予測結果（2001年，曝気水深=最大 55m：その 1）

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)



☒ 2.2.86 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2001年, 曝気水深=最大 55m : その2)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

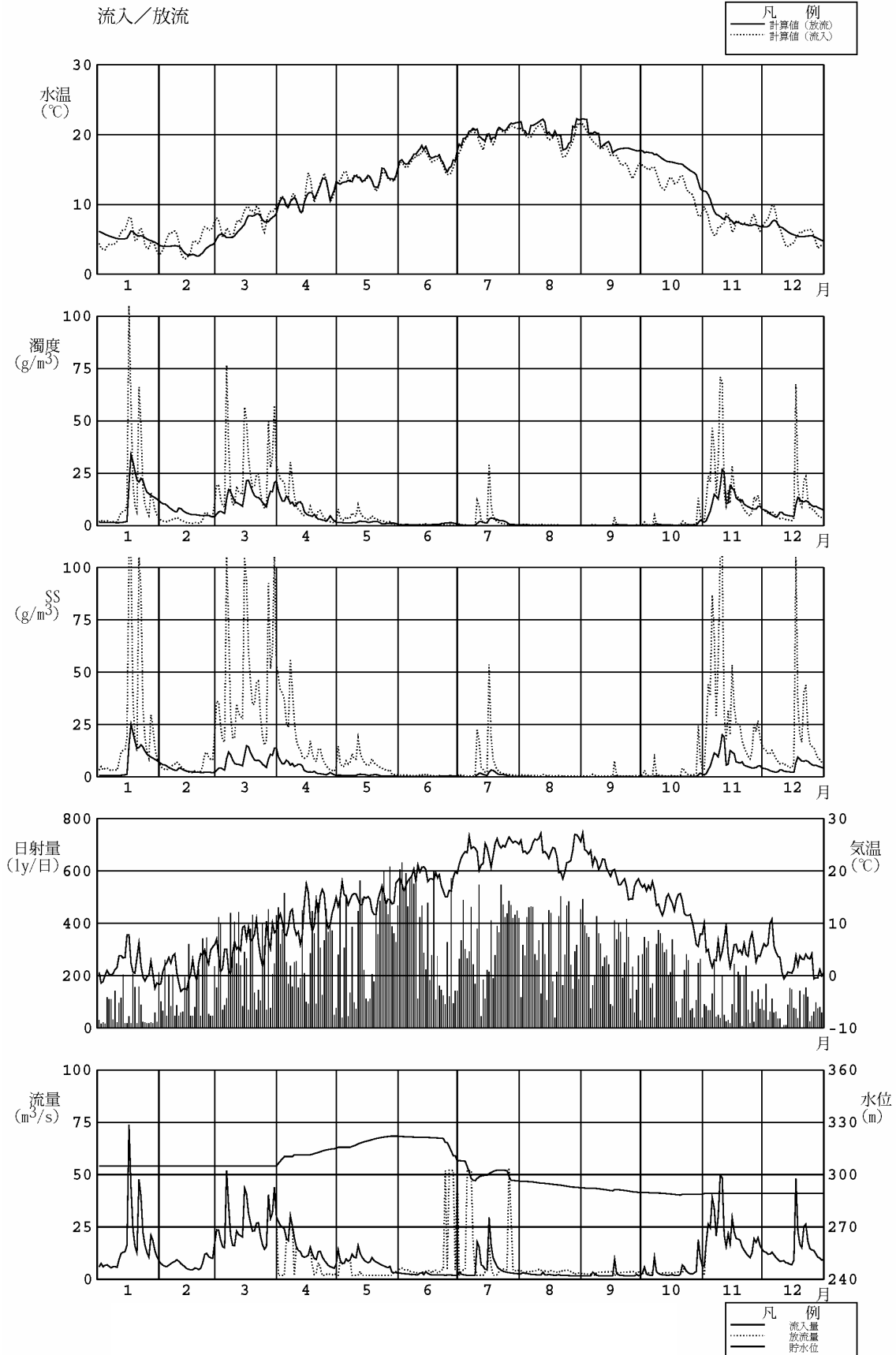


図 2.2.87 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2002 年, 曝気水深=最大 55m : その 1)

- ・ 選択取水設備運用
- ・ 環境放流条件考慮
- ・ 曝気設備運用 (曝気水深 = 最大 55m)

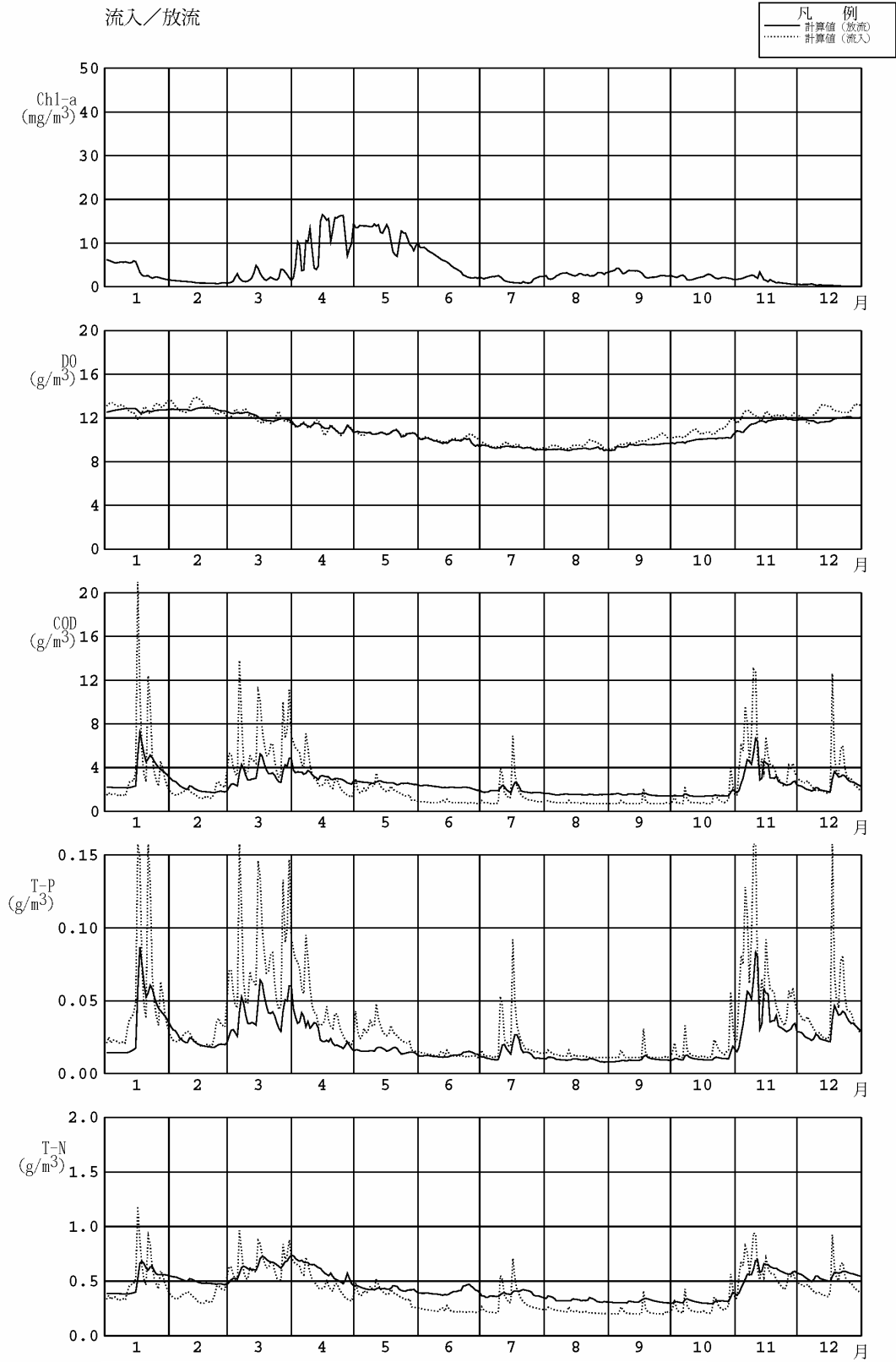


図 2.2.88 丹生ダム貯水池水質予測結果 (2002 年, 曝気水深=最大 55m : その 2)

(5) 丹生ダムにおける水質問題発生の可能性に関するまとめ

冷温水問題については、選択取水設備の運用によりダム建設後も流入水温と同程度の水温の水を放流することが可能である。なお、環境放流の実施を前提とした場合、冷温水問題が発生する可能性はあるが、曝気循環による対策を行うことにより問題は解消されると予測される。

濁水の長期化現象については、比較的生起頻度が高い中小規模の出水に関しては問題が発生する可能性は低いと考えられる。既往最大規模の出水（1953年7月に日平均159m³/sの流入量）の場合は、濁度10度を上回る日数は7日程度である。全体としては、流入濁度よりも放流濁度の方が低くなっている。

富栄養化現象については、予測されるクロロフィルa、窒素、リンの濃度の結果よりある程度植物プランクトンの増殖は認められるが、アオコ等の富栄養化問題が発生する可能性は低いと推察される。また、曝気を行うことによって貯水池における富栄養化を助長する可能性は低く、むしろ富栄養化の抑制に寄与するものと推察される。