

### 3. 事業効果の発現状況

#### 3-1. 富栄養化現象の抑制効果の発現状況

事業による富栄養化現象の抑制効果については、以下の項目について検討した。

- (1) 副ダムによるリンの削減状況
- (2) 淡水赤潮・アオコの発生状況の変化
- (3) 貯水池内における水質・植物プランクトンの変化
- (4) 水温成層の形成状況
- (5) アオコ発生ポテンシャルの変化

なお、抑制効果は主に流入するリンの削減効果によって算出しているが、その理由としては以下があげられる。

植物プランクトンの N/P 比は約 7, アオコは 13.5 であり, これより N/P 比が高いと P 制限, 低いと N 制限になるとされている (手塚公裕ほか: 用水と廃水, 48, 411-423 (2006)、藤本尚志ほか: 水環境学会誌, 18, 901-908 (1995))。室生ダムの N/P 比は 20 年間の平均で 40 程度であり (平成元年～平成 20 年の網場表層の平均 T-N=0.964mg/L、T-P=0.024mg/L)、P 制限になっている。

#### 1) 副ダムによるリンの削減状況

副ダムの設置に伴うリンの削減量について、以下の手法による推定を行った。

- 【推定手法】 浚渫土砂のリン含有量からの推定
- 【推定対象期間】 平成 17 年 (事業完了後) ～平成 20 年

(1) 浚渫土砂のリン含有量からの除去量の推定

副ダムによるリンの削減量として、浚渫土砂のリン含有量からの除去量を推定する。各年度の浚渫位置及びその土質と平成20年度底質調査位置及び結果を対応させて算出を行った。

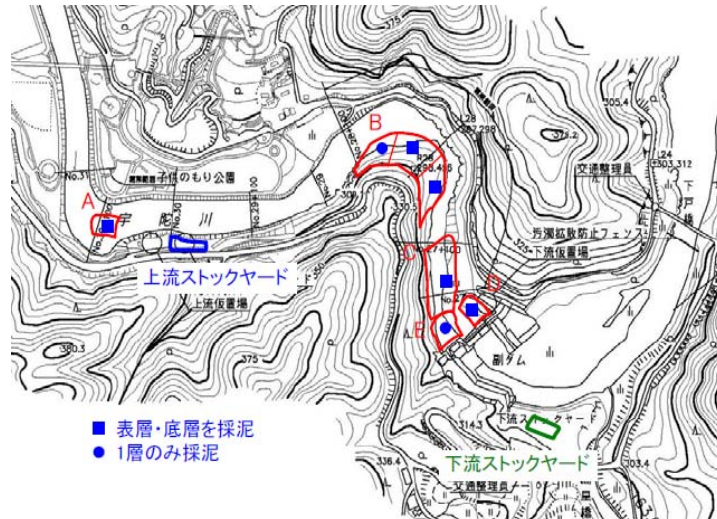


図 3-1-1 底質調査地点図 (H20.12)

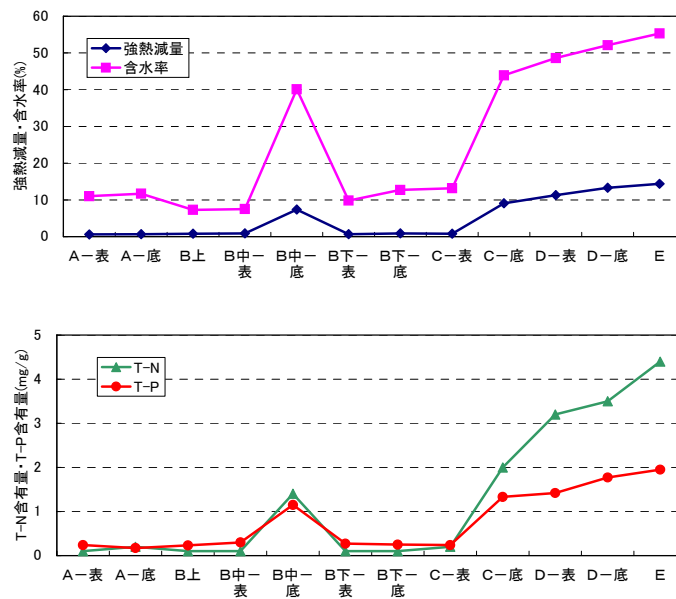


図 3-1-2 底質調査結果 (H20.12)

表 3-1-1 底質調査結果 (H20.12)

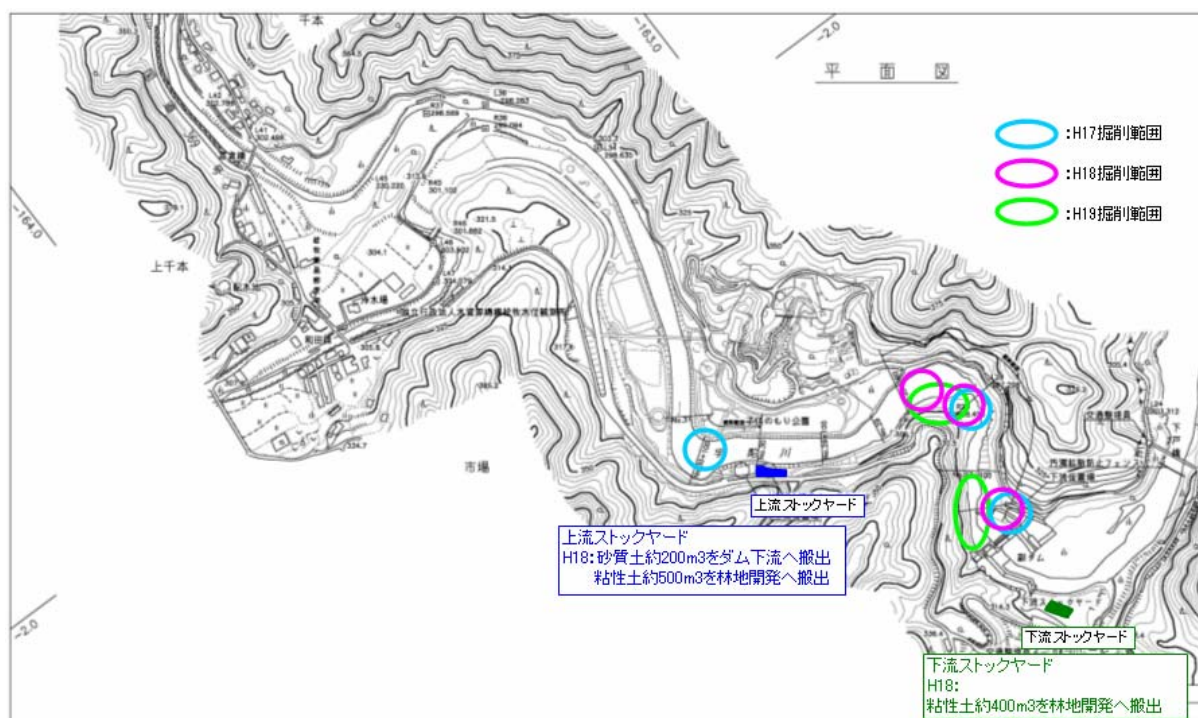
項目	地点 単位	A-表	A-底	B上	B中-表	B中-底	B下-表	B下-底	C-表	C-底	D-表	D-底	E
強熱減量	%	0.6	0.7	0.8	0.9	7.4	0.7	0.9	0.8	9.1	11.3	13.3	14.4
含水率	%	11.0	11.7	7.3	7.5	40.1	9.8	12.7	13.2	43.9	48.6	52.1	55.3
T-N含有量	mg/g	0.1	0.2	0.1	0.1	1.4	0.1	0.1	0.2	2.0	3.2	3.5	4.4
T-P含有量	mg/g	0.24	0.17	0.23	0.30	1.15	0.27	0.25	0.24	1.33	1.42	1.77	1.95

平成 20 年度調査結果を見ると、副ダム直上流 (C、D、E) と No. 28 地点(B 中地点)の栄養塩濃度が高いことがわかる。さらに、No. 28 地点(B 中地点)では表層は栄養塩濃度が低く、底層は高い傾向となっている。

このような傾向は既往の浚渫実績とよく一致していることから、栄養塩濃度の高い底泥はほぼ同じ箇所に堆積すると考えられる。そこで、既往の浚渫実績データと平成 20 年度の底質分析データを活用し、浚渫方法による栄養塩除去効果を推定した。

なお、浚渫位置と H20 年度底質調査位置の対応については、次のとおりとした。

- >> No. 30 上流側で砂質土・・・A-表層
- >> No. 30 上流側で粘性土・・・A-底層
- >> No. 28 上流側で砂質土・・・B 上
- >> No. 28 で砂質土・・・・・・・・・・B 中-表層
- >> No. 28 で粘性土・・・・・・・・・・B 中-底層
- >> 副ダム直上流で粘性土・・・・・・・・D(表層・底層の平均) (H19 は C-底層と E の平均)



地点別浚渫量に T-P 含有量・(1-含水率)及び砂の単位体積重量を乗じて、浚渫による T-P 除去量を算定した。単位体積重量については一般的に用いられる 1,800kg/m<sup>3</sup> とした。

以上より、H19 年度の T-P 除去量が圧倒的に大きく、除去効率も最も高いことがわかる。また、H18 年度は浚渫量が少ないものの T-P 除去効率は高かったと言える。

表 3-1-2 各年度の T-P 除去量推定結果

浚渫年度	土質	(1)	(2)	-	(3)	(4)	(5)=(1)×(3) ×(1-(4))×砂の 単位体積重量	(6)=Σ(5)	(7)=(6)/(2)	(8)
		浚渫量 (m <sup>3</sup> )	浚渫量計 (m <sup>3</sup> )	浚渫位置 -	T-P含有量 (mg/g)	含水率 (%)	T-P除去量 (kg)	各年T-P除去量 (kg)	T-P除去効率 (kg/m <sup>3</sup> )	個々の除去効率 (kg/m <sup>3</sup> )
H17	砂質土	250	2,840	A表	0.24	11.00	96	1,806	0.64	0.38
	粘性土	40		A底	0.17	11.70	11			0.27
	砂質土	2,010		B中表	0.30	7.50	1,004			0.50
	粘性土	400		B中底	1.15	40.10	496			1.24
	粘性土	140		D	1.60	50.35	200			1.43
H18	砂質土	220	1,930	B上	0.23	7.30	84	2,353	1.22	0.38
	粘性土	910		B中底	1.15	40.10	1,128			1.24
	粘性土	800		D	1.60	50.35	1,140			1.43
H19	砂質土	970	4,070	B上	0.23	7.30	372	4,984	1.22	0.38
	粘性土	3,100		C底・E	1.64	49.60	4,612			1.49
H20	砂質土	596	4,046	B中表	0.30	7.50	298	3,859	0.95	0.50
	粘性土	3,450		C表・D表	0.83	30.90	3,562			1.03

※「浚渫位置」はH20年度底質調査における調査地点名で示した

※砂の単位体積重量は一般に用いられる1800kg/m<sup>3</sup>とした

※A地点はT-P含有量が表底逆転しているが、浚渫量が少ないことから、砂質土：表層、粘性土：底層とした。

これをみると、平成 17~20 年度の浚渫により、副ダム設置後 7 年間に堆積した 13,003kg のリンが削減されたと推定される。

表 3-1-3 T-P 除去量目標値の達成状況（浚渫土 T-P 含有量からの推定）

	年あたり T-P 除去量(推定)	日あたり T-P 除去量(推定)	目標値	目標達成率
	kg/年	kg/日	kg/日	%
H17	1,806	4.9	8.6	57%
H18	2,353	6.4	8.6	74%
H19	4,984	13.7	8.6	159%
H20	3,859	10.6	8.6	123%
合計	13,003	35.6	—	—
平均	3,251	8.9	8.6	103%

次に、次項以降において、副ダム及び副ダム越流水の水質調査結果を基に、これらの水質濃度の差からリン除去量の推定を試みるものとした。

(2) 副ダム流入水・副ダム越流水の水質調査結果からの除去量の推定

水質の変化から推定した場合、室生ダムに流入する全リン (T-P) が、7年間で5,945kg (流入 T-P の約 11%) 低減されたことになる。

表 3-1-4 副ダム流入水・副ダム越流水の水質調査結果からの除去量の推定結果

T-P	G	H	I (=G*H)	C	E	J (=C*E)	K (=J/I)
	総流入負荷量 (倒伏時含む)			副ダムによる 削減負荷量			実削減率
	kg/日	日	kg/年	kg/日	日	kg/年	%
H13.11-H14.10	9.18	365	3,351	0.85	357	304.7	9.1
H14.11-H15.10	27.34	365	9,980	5.44	319	1739.5	17.4
H15.11-H16.10	39.12	366	14,318	3.37	289	978.4	6.8
H16.11-H17.10	17.18	365	6,271	2.55	131	335.1	5.3
H17.11-H18.10	17.46	365	6,371	2.87	315	906.4	14.2
H18.11-H19.10	25.32	365	9,241	3.22	290	938.7	10.2
H19.11-H20.10	19.63	365	7,165	3.08	241	742.5	10.4
平均	22.18		8100	3.05	277	849	10.5
					合計	5,945	kg/年

浚渫土砂量からの推定除去量と比較すると、約 4 割の値となっている。水質による推定では掃流砂が考慮されないことが、この差の一因になっている可能性がある。

副ダムによる T-P の低減イメージを図 3-1-3 に示す。流量が多いほど室生ダム貯水池への流入量を低減させている。ただし、ダム等の維持管理に必要な時期および大規模な出水時には副ダムを倒伏させるため、この間の倒伏期間低減効果はなくなる。

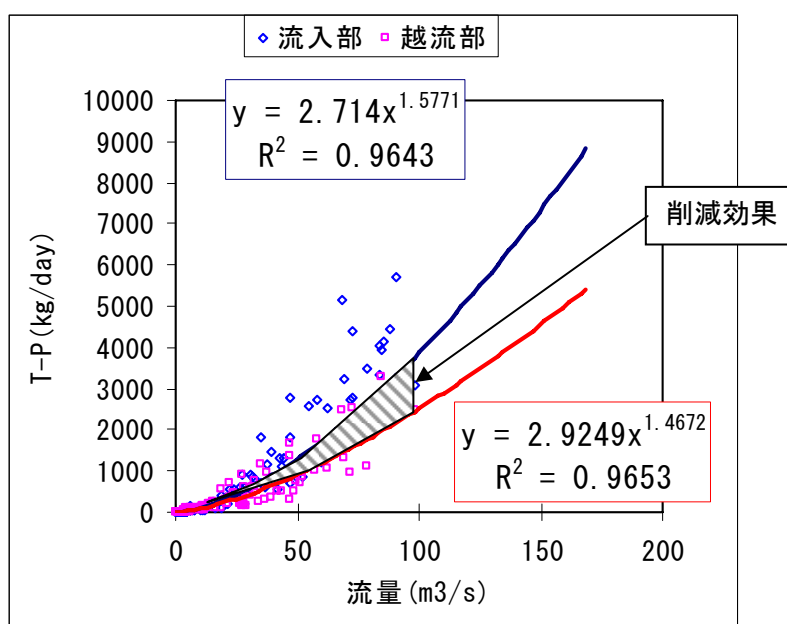


図 3-1-3 副ダムによる T-P 制限効果のイメージ (倒伏を考慮)

次に、小規模出水時に貯留された栄養塩類が副ダム倒伏時に室生ダム貯水池に流入することが想定されるため、出水時の流入－流出の T-P の調査結果を比較した。

その結果、2回の出水時（H13. 8. 21 出水、H19. 7. 17 出水）の水質調査結果を見る限り、流入に比べて越流が高くなる現象は認められず、出水時には流入と同程度の流出負荷になっていると考えられる。

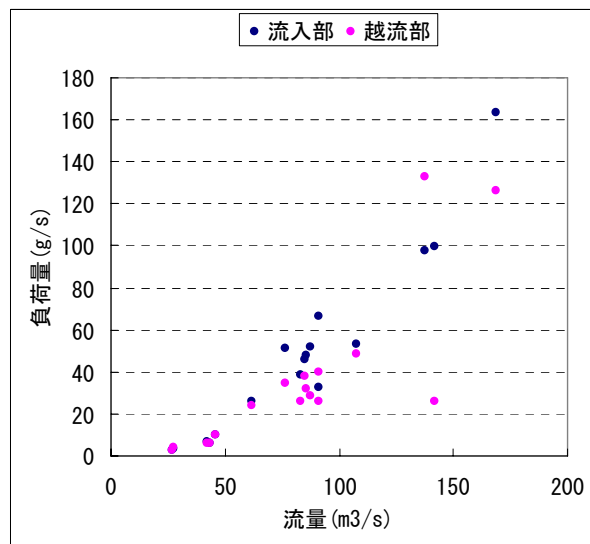


図 3-1-4 副ダム倒伏時（出水時）の流入流出の L-Q 式 (T-P)  
（H13. 8. 21 出水、H19. 7. 17 出水による観測値より）

副ダムの倒伏実績を以下に示す。

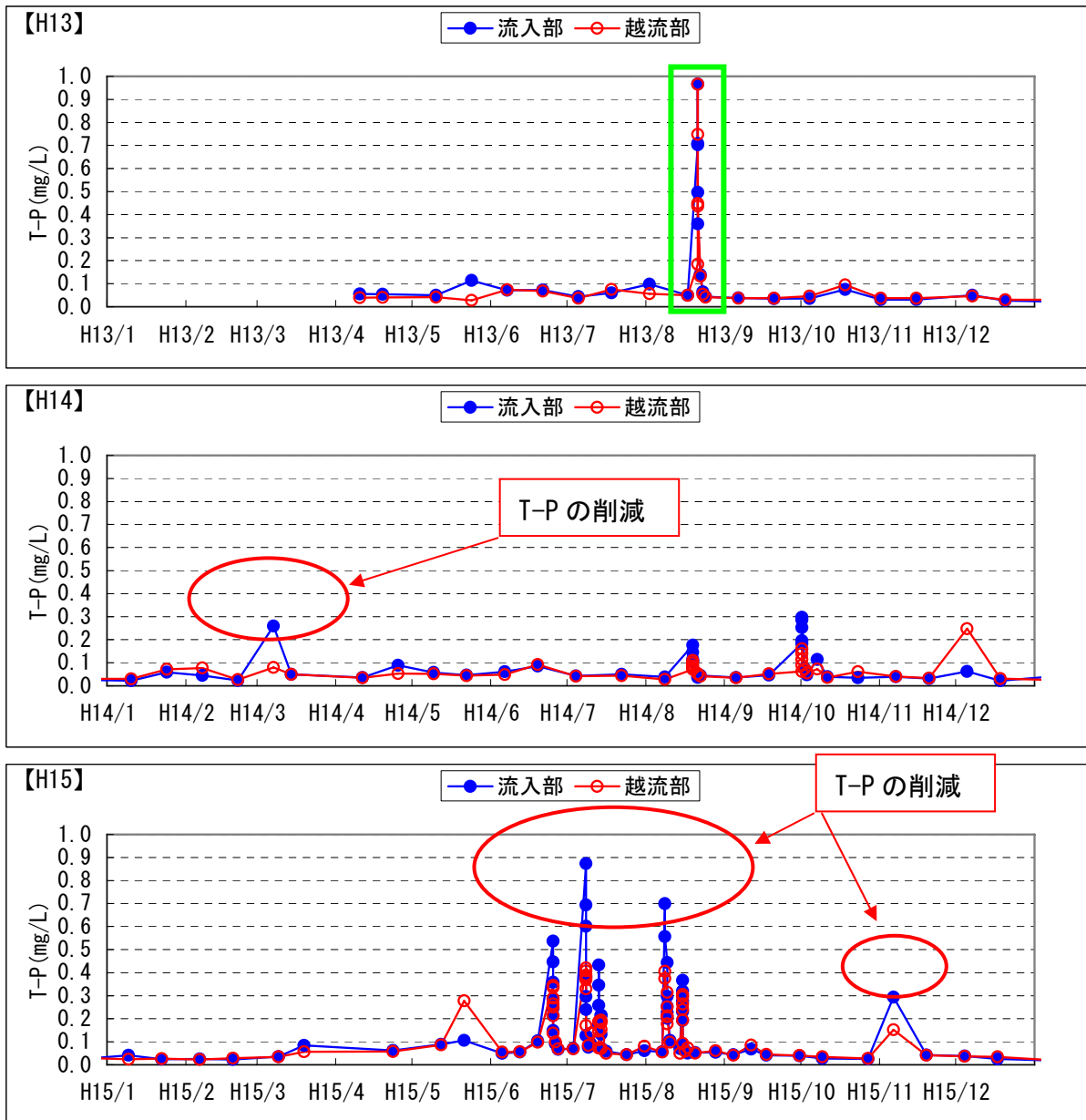
倒伏をしていない期間は年平均値で 283.5 日であり、副ダムの稼働率は 77.5%であった。

表 3-1-5 副ダムの倒伏実績

年度	回数 (/年)	区分	倒伏期間	倒伏時間 (時間)
平成 13 年度	4 回	倒伏試験	2001/ 7/30 11:00～2001/ 7/30 14:00	3
		出水による自動倒伏	2001/ 8/21 13:00～2001/ 8/24 19:00	78
		倒伏試験	2001/10/ 5 11:00～2001/10/ 5 19:00	8
		倒伏試験	2001/10/ 9 11:00～2001/10/ 9 18:00	7
平成 14 年度	1 回	試験浚渫による倒伏	2002/10/24 11:00～2002/12/16 11:00	1272 (53 日)
平成 15 年度	—			
平成 16 年度	2 回	出水による自動倒伏	2004/ 8/ 5 4:00～2004/ 8/ 7 10:00	54
		護岸工事による倒伏	2004/ 8/19 11:00～2005/5/20 20:00	6585 (275 日)
平成 17 年度	1 回	浚渫工事による倒伏	2005/9/29 11:00～2005/11/22 12:00	1297 (55 日)
平成 18 年度	1 回	浚渫工事による倒伏	2006/10/4 11:00～2006/11/20 15:00	1132 (48 日)
平成 19 年度	2 回	出水による自動倒伏	2007/7/17 2:00～2007/7/20	
		浚渫工事による倒伏	2007/9/11 19:00～2007/11/28	
平成 20 年度	1 回	浚渫工事による倒伏	2008/8/30 ～2009/3/27	

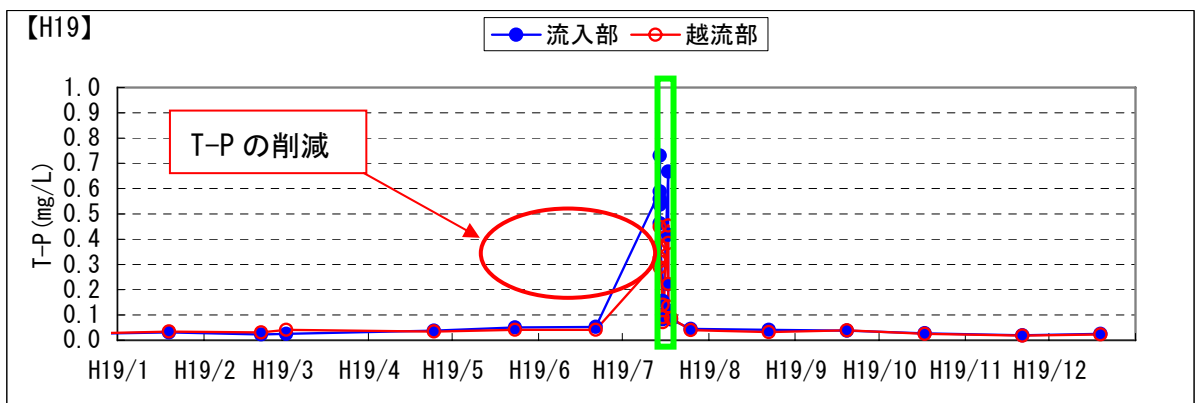
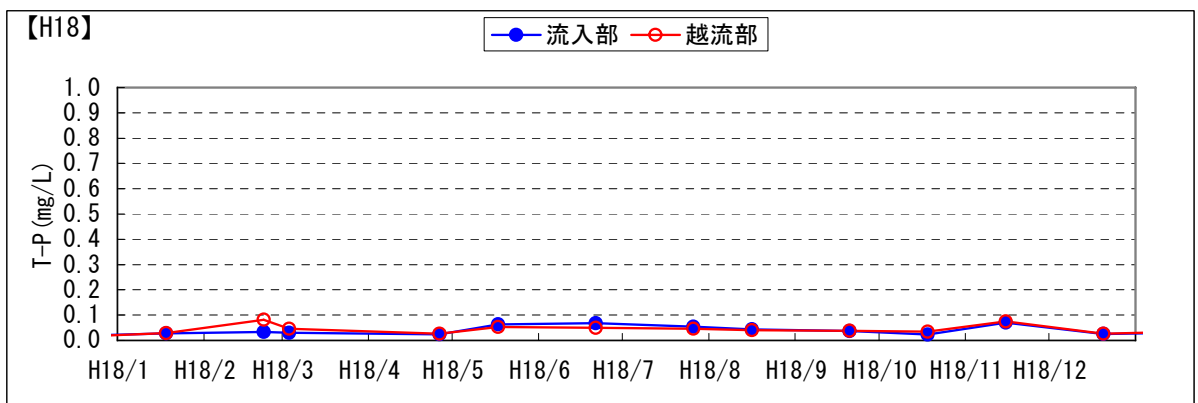
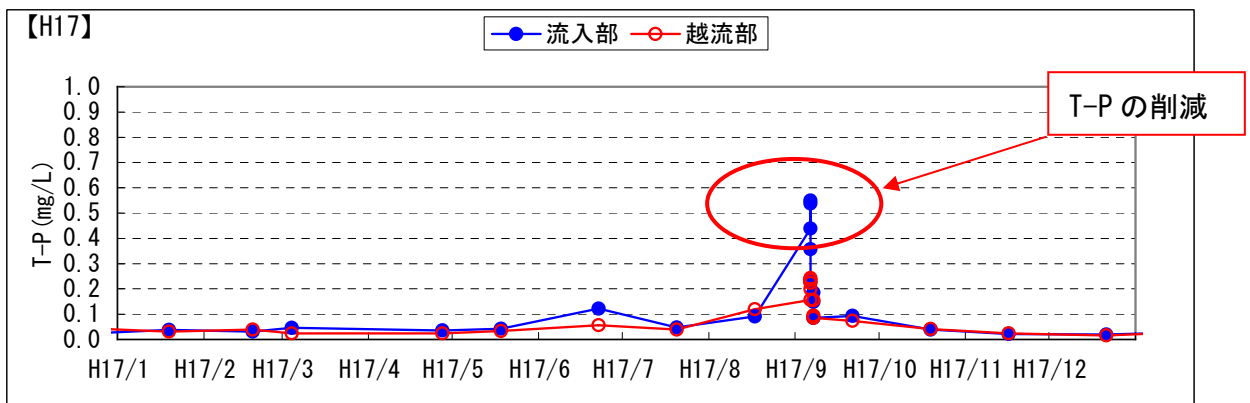
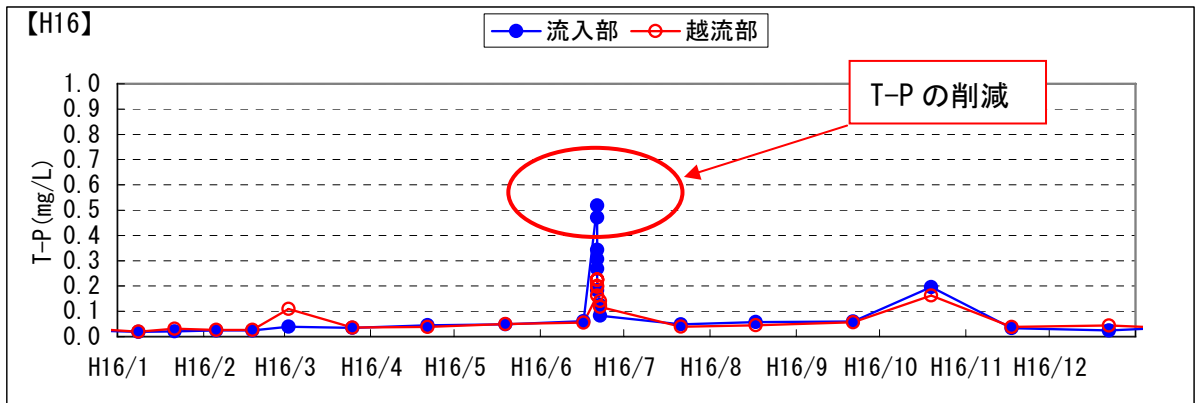
### (3) 副ダムに流入、流出した T-P

副ダムに流入、流出した T-P 調査結果を図 3-5 に示す。平水時には低減効果はほとんど認められないが、流量が多い時には流入に比べて越流する T-P が低く、室生ダム貯水池への流入量を低減させていることがわかる。



※緑色の枠（  ）はゴム堰倒伏時を示し、この間は T-P 削減効果はない。

図 3-1-5 副ダムの流入流出の T-P 調査結果(平水時、出水時) (1/2)



※緑色の枠（）はゴム堰倒伏時を示し、この間はT-P削減効果はない。

図 3-1-6 副ダムの流入流出の T-P 調査結果(平水時、出水時) (2/2)



#### (4) 副ダムの運用に伴う副次的効果

以上に示したとおり、常に T-P の流入制限効果を発揮するために、副ダムにおいて毎年定期的に浚渫が行われている。

副ダム供用後の平成 13 年度からは、各年堆砂量が供用前よりも減少する傾向にあり、この要因の一つとして、副ダムの存在が考えられる。

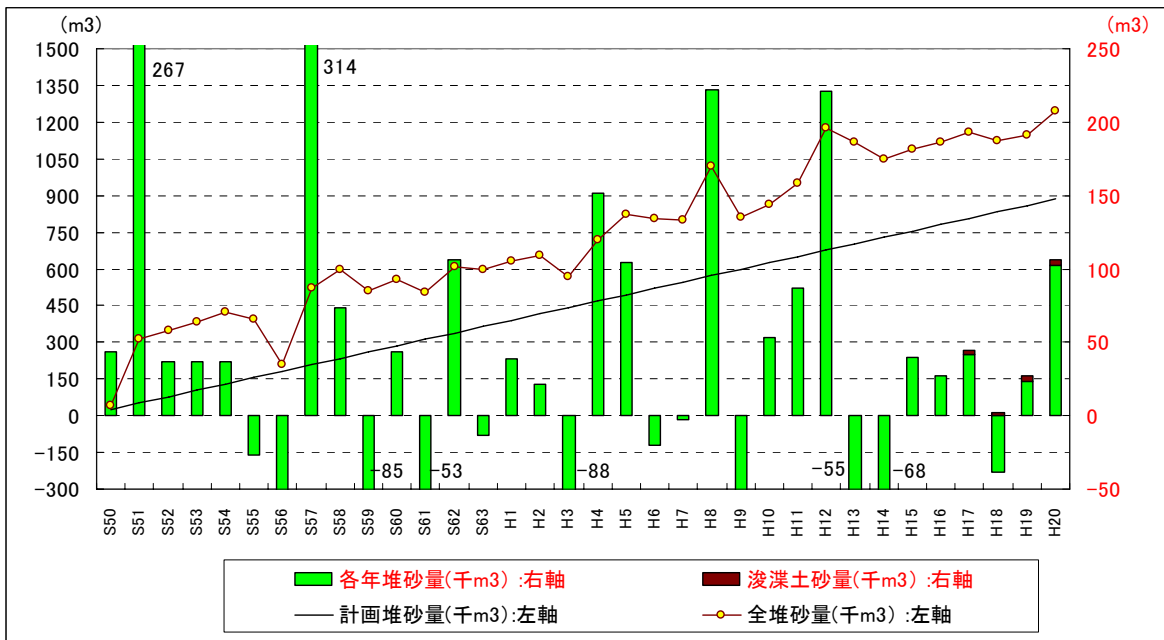


図 3-1-7 室生ダムの堆砂量の推移

## 2) アオコ等の発生状況の変化

室生ダム貯水池の淡水赤潮及びアオコの発生状況を下表に示す。事業が実施された平成13年以降、7年間で13,003kg(土砂による推定値)のT-Pを削減したと考えられる。淡水赤潮の発生日数は減少したものの、アオコ発生日数については、室生ダムは昭和49年の管理開始以降、底層に堆積したT-Pなどの栄養塩類の影響などもあり、アオコ等が減少したとは言い難い状況である。

表 3-1-6 淡水赤潮・アオコの発生状況(室生ダム貯水池全体)

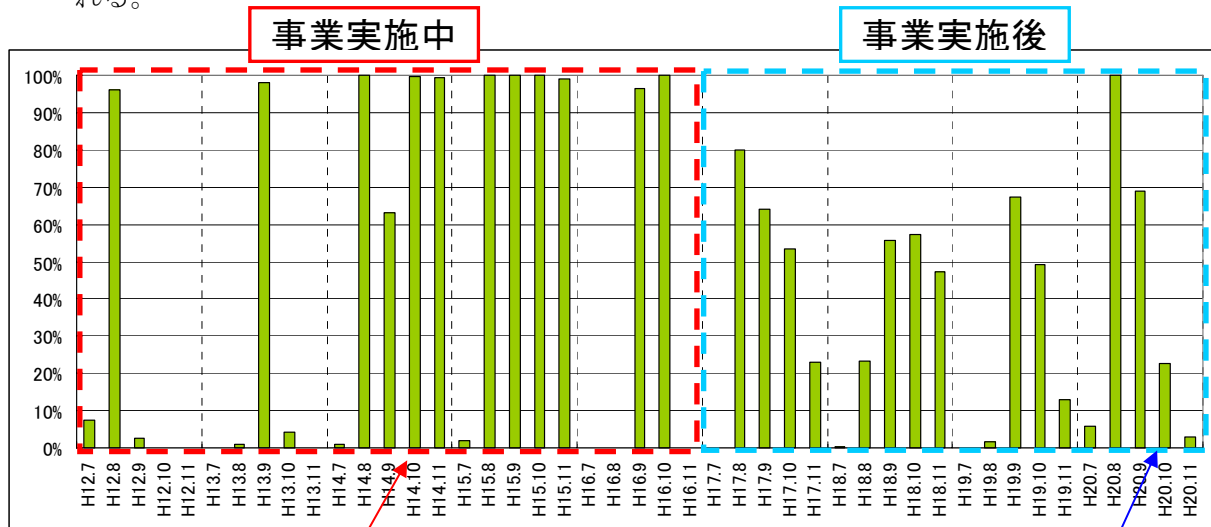
年次	発生場所	発生状況												下水道普及率 (宇陀川流域)	備考	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
1993年(H5)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部								8/1~31 アオコ						53%	
1994年(H6)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部													55%		
1995年(H7)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部													57%		
1996年(H8)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部													59%		
1997年(H9)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部													60%		
1998年(H10)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部			3/2~21 淡水赤潮				7/8~14 水の華		9/1 緑藻類				61%		
1999年(H11)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部									9/30 アオコ	10/14 アオコ	11/11 アオコ		62%		
2000年(H12)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部			4/17~4/25 アオコ		6/5~9 アオコ	6月下旬~9月中旬 アオコ							63%	水質自動観測装置設置	
2001年(H13)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部									9/29 アオコ	10/3 アオコ	10/22 アオコ		64%	副ダム完成	
2002年(H14)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部			3/20~27 アオコ		5/29~6/12 アオコ	6/27~7/1 アオコ	7/30 アオコ	8/8 アオコ	9/16 アオコ	11/7 アオコ	12/9 アオコ		65%	[クロキスライムが産生する毒素(クロキスリン)検出]	
2003年(H15)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部					8/4~8/11 アオコ	7/2~7/9 アオコ	7/24 アオコ	8/18 アオコ	9/16 アオコ	10/7 アオコ	11/17 アオコ		67%		
2004年(H16)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部					6/11 アオコ	6/16 アオコ	7/7 アオコ	8/18 アオコ		11/1 アオコ			68%		
2005年(H17)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部								8/4 アオコ			11/18 アオコ		69%	貯水池水質保全事業 1年目	
2006年(H18)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部								8/28 アオコ	8/30 アオコ	9/15 アオコ	9/22 アオコ	11/1 アオコ	11/9 アオコ	注2)	貯水池水質保全事業 2年目
2007年(H18)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部								9/13 アオコ	9/18 アオコ	9/25 アオコ	11/12 アオコ	11/30 アオコ	注2)	貯水池水質保全事業 3年目	
2008年(H20)	a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部								8/11 アオコ	9/1 アオコ		10/1 アオコ	10/17 アオコ	注2)	貯水池水質保全事業 4年目	

事業実施中

事業実施後

注1) a,b,c,d,eは発生場所を示す。 a.貯水池全面 b.ダムサイト付近 c.流入部付近 d.湖心部 e.貯水池周辺部の流入部  
 注2) 2006(平成18)年1月に大宇陀町、宇陀野町、榛原町、室生村が合併して宇陀市が誕生し、見かけ上の下水道普及率は減少してしまう。比較対象にならないため、数値の記載をしていない。

一方、貯水池監視時の湛水面積に対するアオコの広がりを整理した場合（事業中にアオコが主に発生していた7月～11月で整理）、事業中に比べ事業後は10ポイントの減少が認められる。



- ※1 週1回の割合で貯水池監視を行っている平成12年以降のデータを使用した。
- ※2 貯水位によって面積が異なることから、貯水池の面積に対してアオコが占める割合を求めた。
- ※3 前ページの発生状況の表は年変動・月変動を捉えることを目的として日変動を省略して表現しているのに対し、本グラフの面積は月の最もアオコの発生面積が大きい日を抽出しているため、整合がとれていない部分もある。

図 3-1-8 室生ダムのアオコの広がりの推移

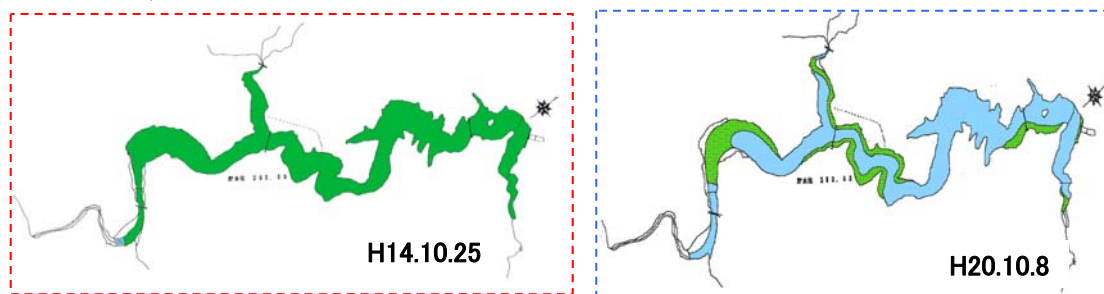


表 3-1-7 アオコの広がりの比較 (7月～11月平均)

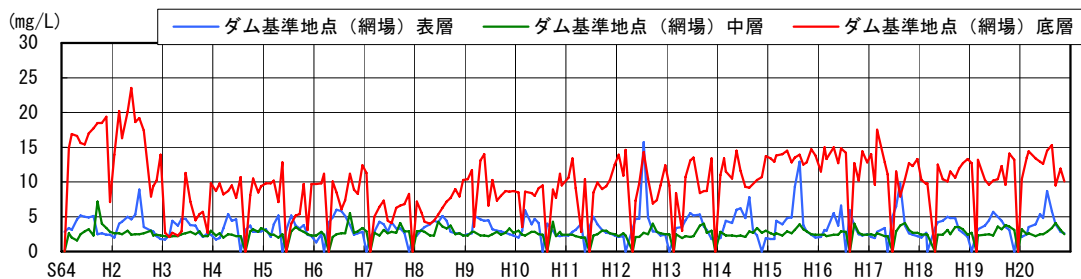
事業中平均	事業後平均
47%	37%

現在、貯水池内において、底質からの栄養塩類の溶出や表層水の水温上昇の抑制を目的とした水環境改善事業を実施しており（平成22年度完了予定）、本事業との相乗効果によりアオコの発生の抑制を行っていく。

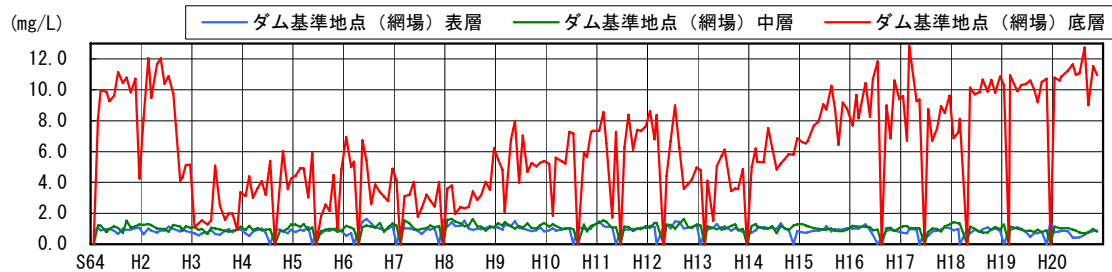
### 3) 貯水池内における水質・植物プランクトンの変化

網場地点の水質についてはこの20年間で大きな変化はない。

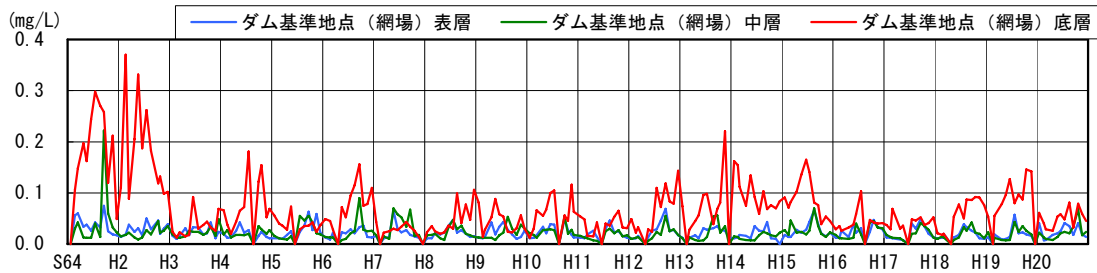
COD



全窒素



全リン



クロロフィルa

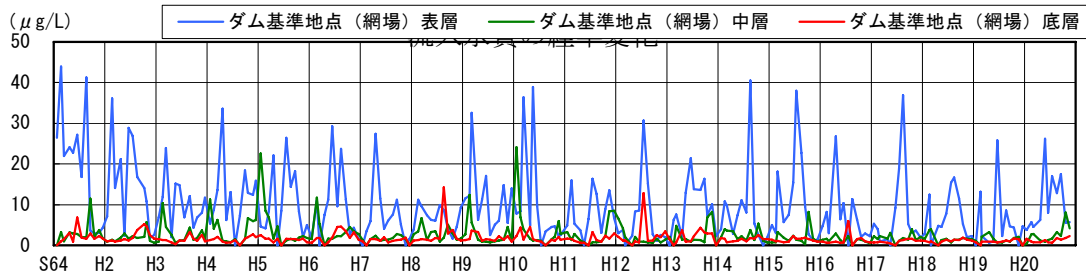


図 3-1-9 網場地点の水質経年変化

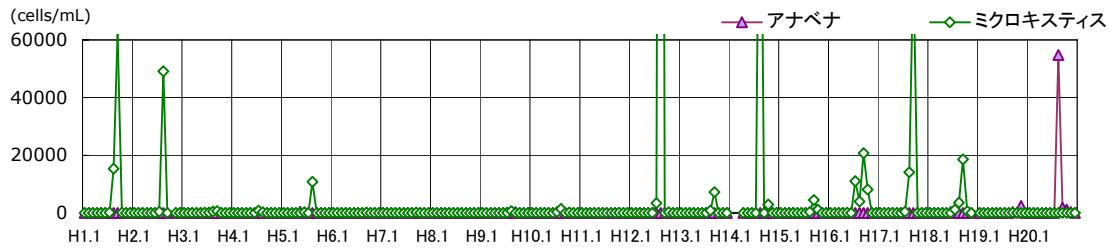
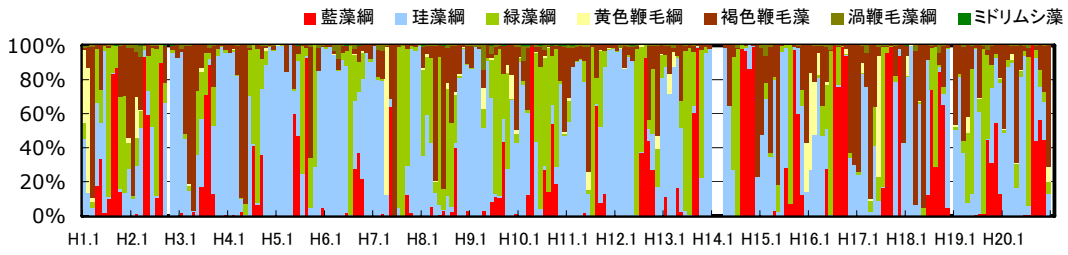
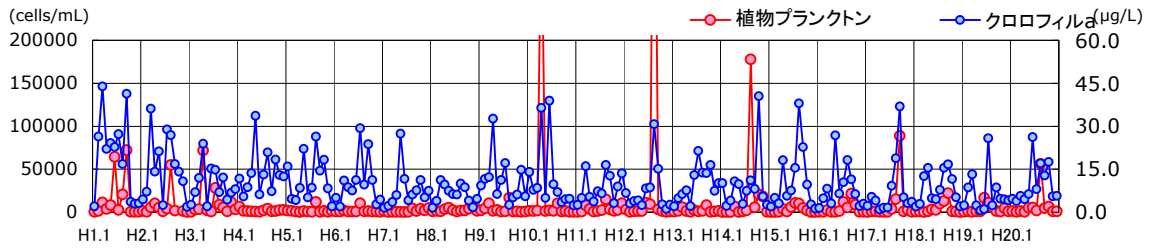


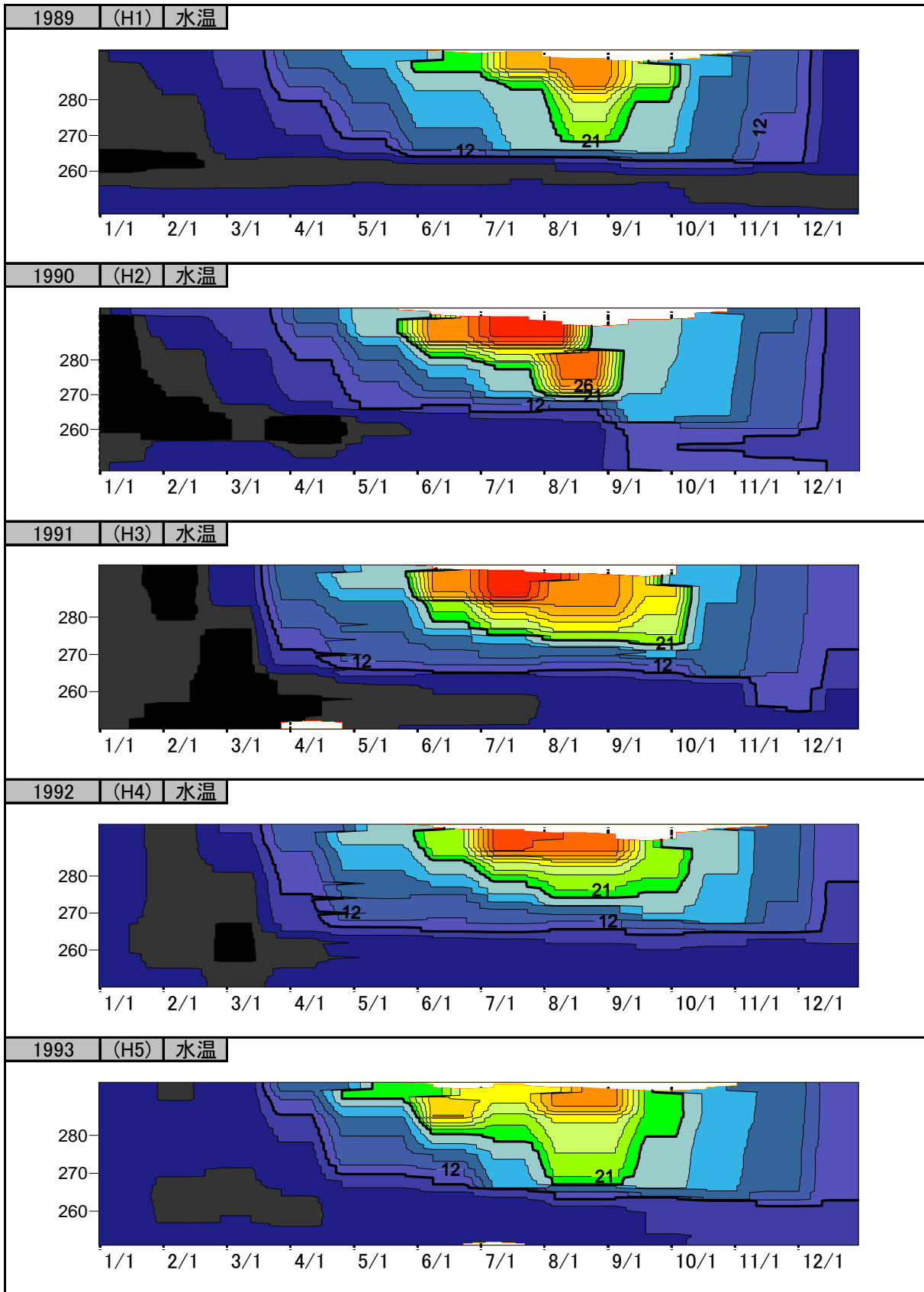
図 3-1-10 植物プランクトン等の経年変化

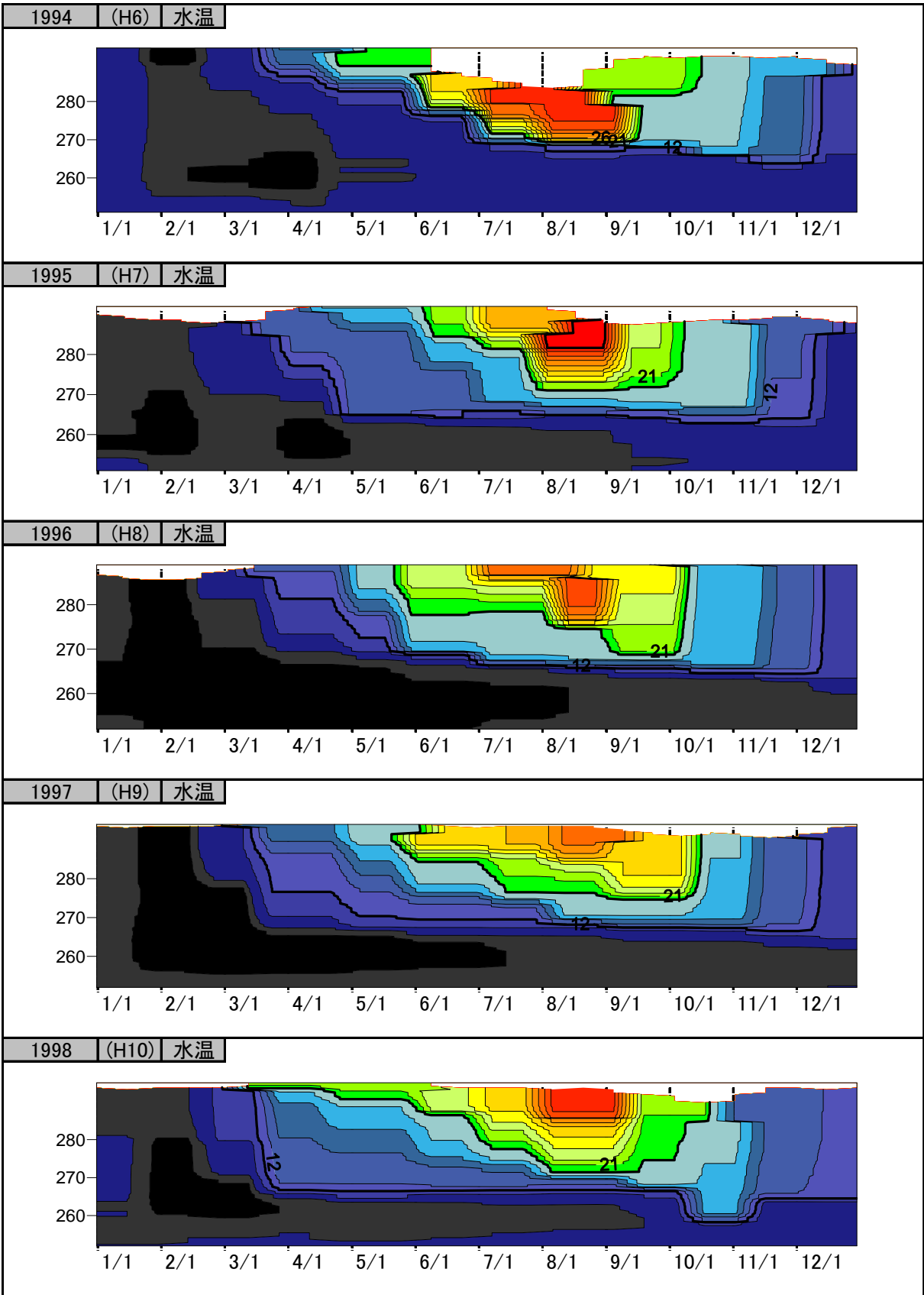
#### 4) 水温成層の形成状況

室生ダムの網場地点の鉛直方向の水温、D0 の状況を整理した。(※2005 より前は1ヶ月毎の観測結果、2005 以降は毎日の自動観測値：13時を使用)

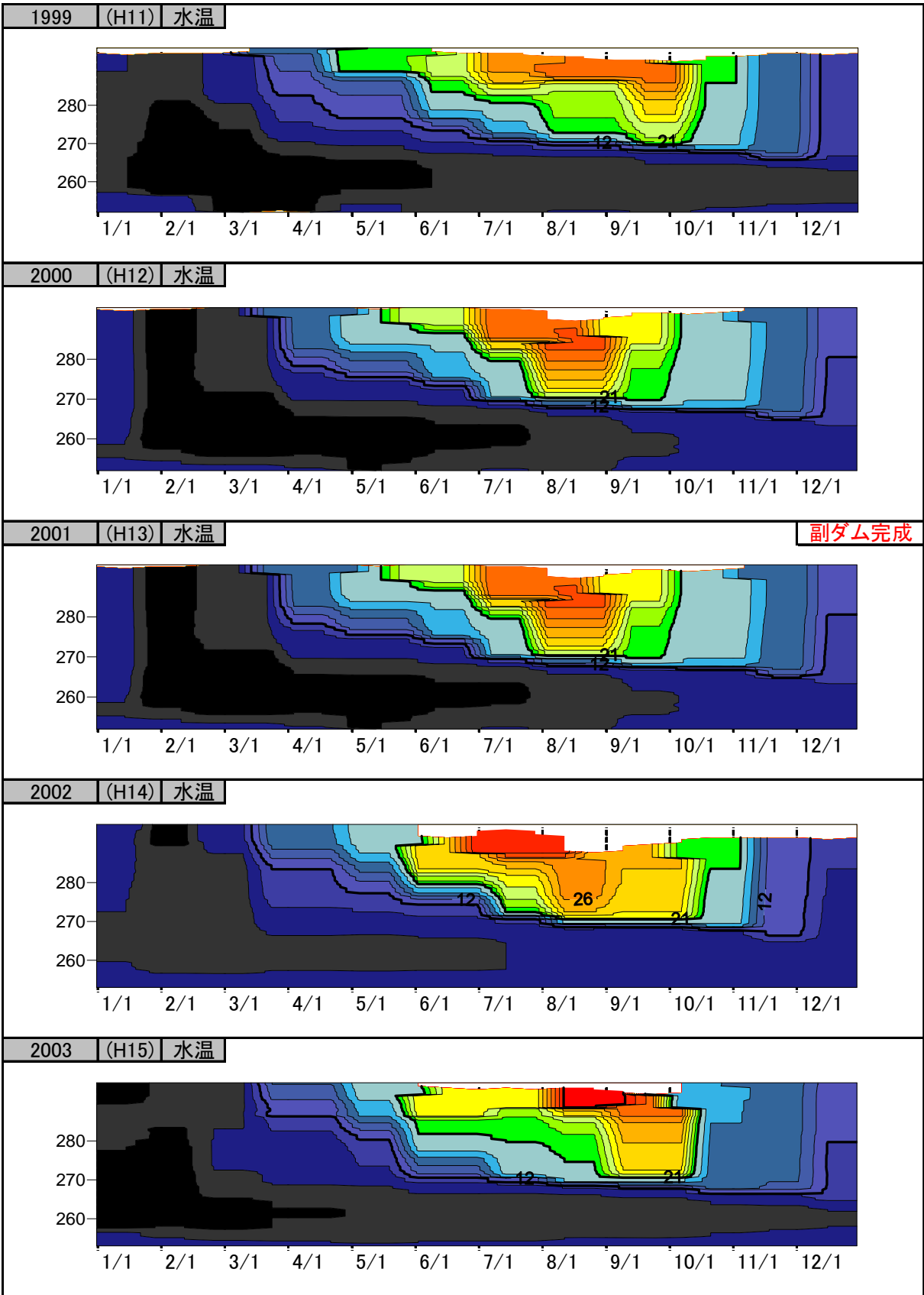
室生ダムでは概ね12月～3月が循環期となり、4月に成層が形成しはじめ、11月に循環期に移行している。底層では年間を通じて6℃程度で一定になっており、表層との水交換の頻度は少なく、年間を通じて無酸素状態(D0がほぼ0)である。

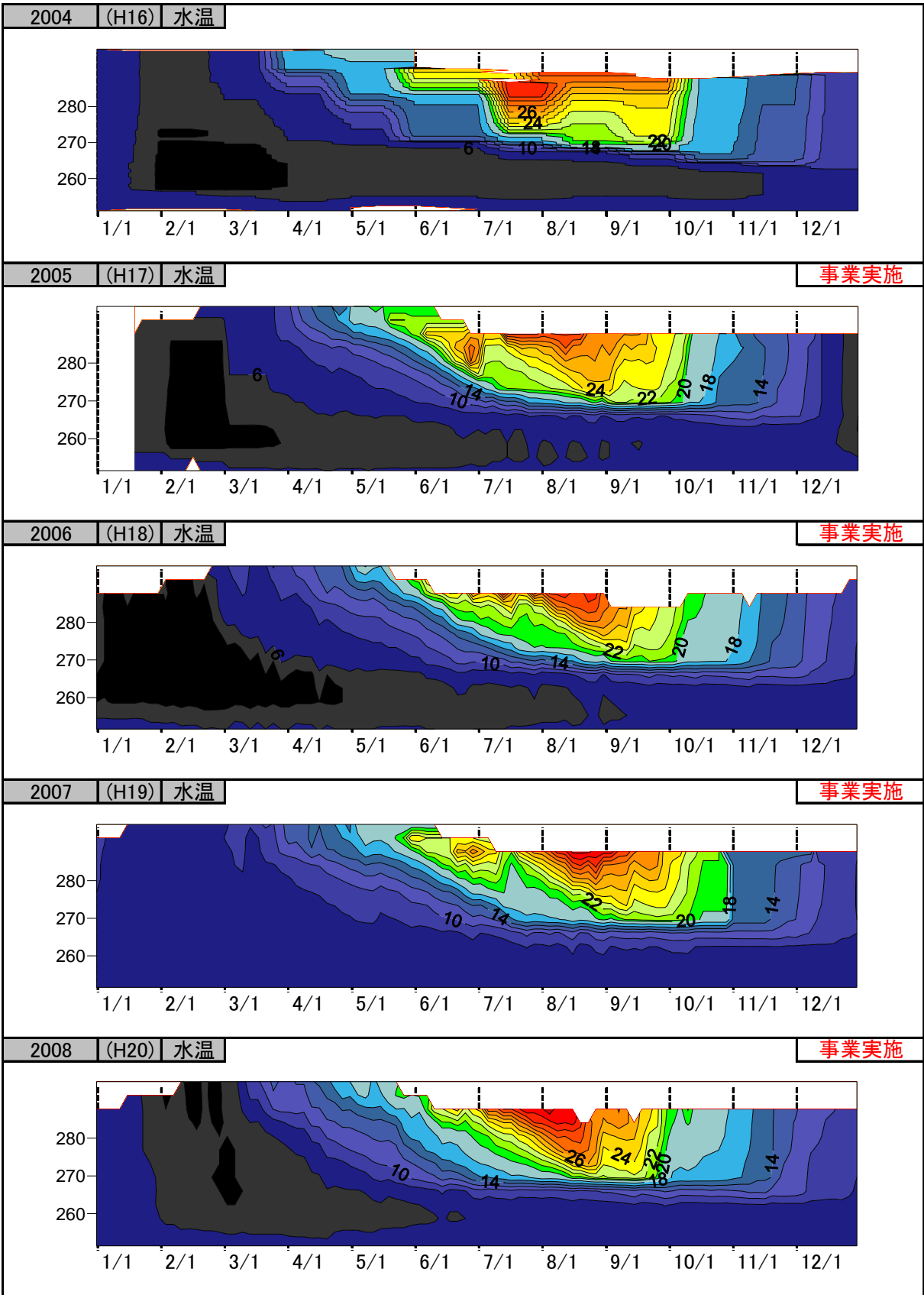
(1) 水温鉛直分布の時系列変化



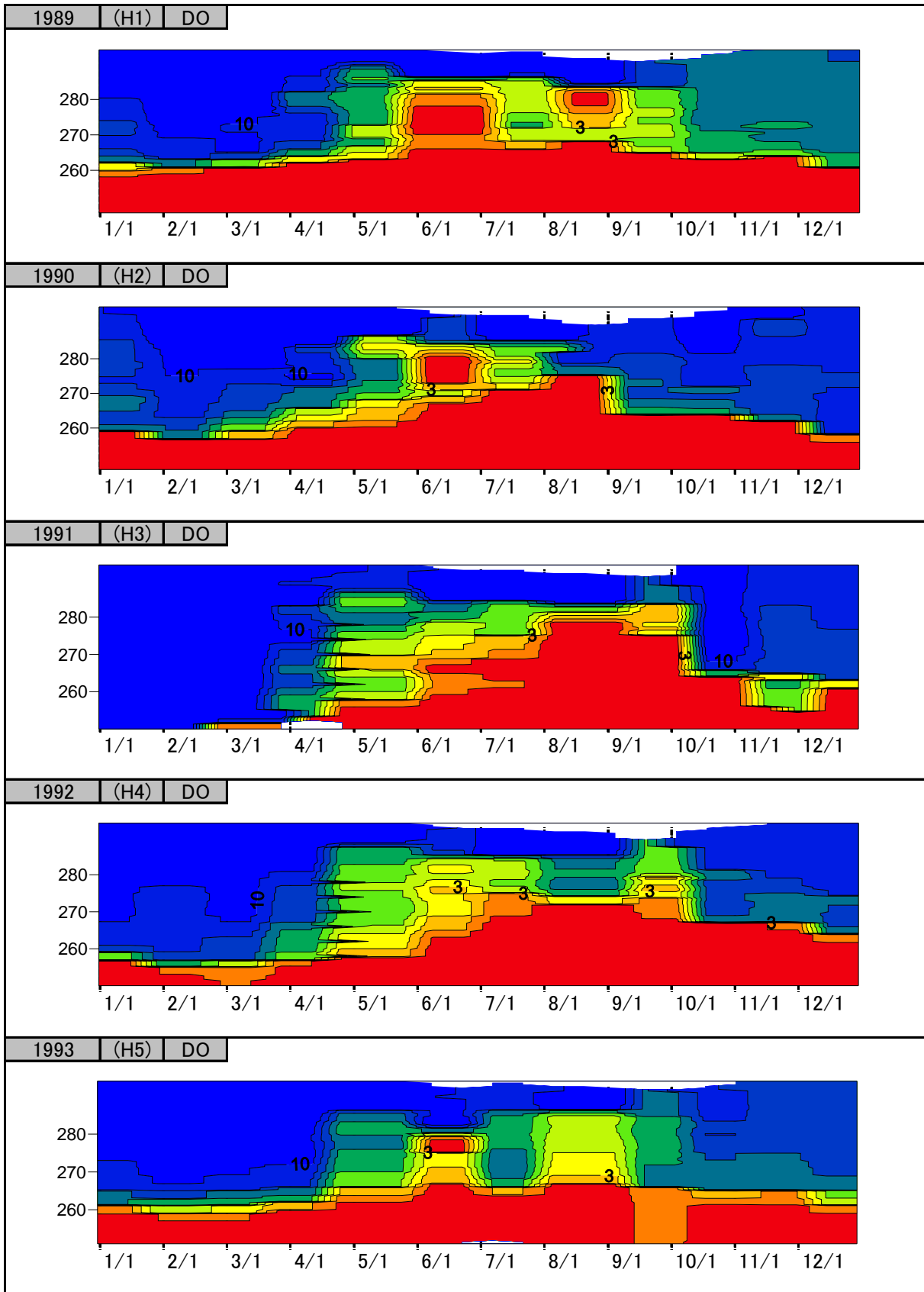


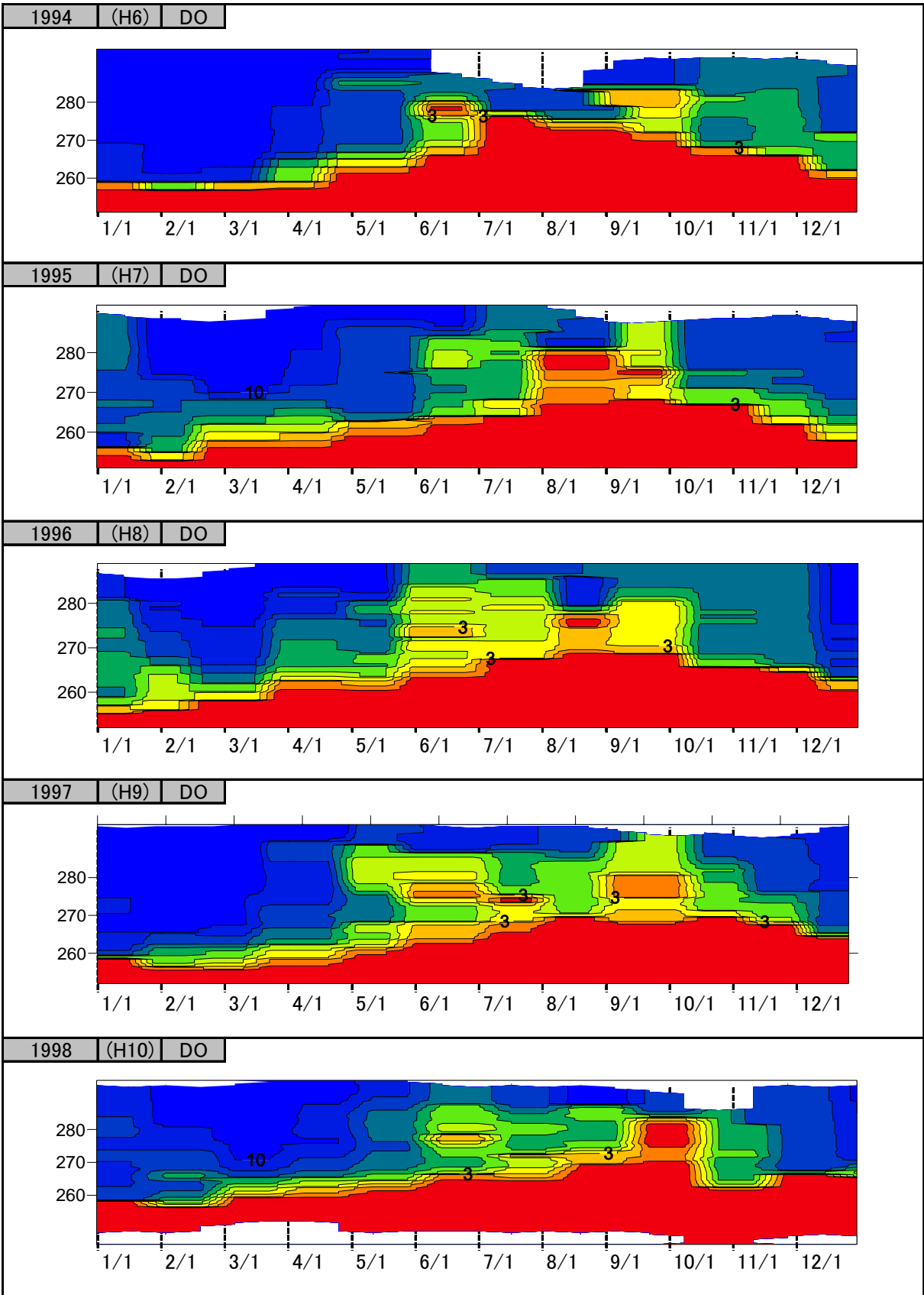


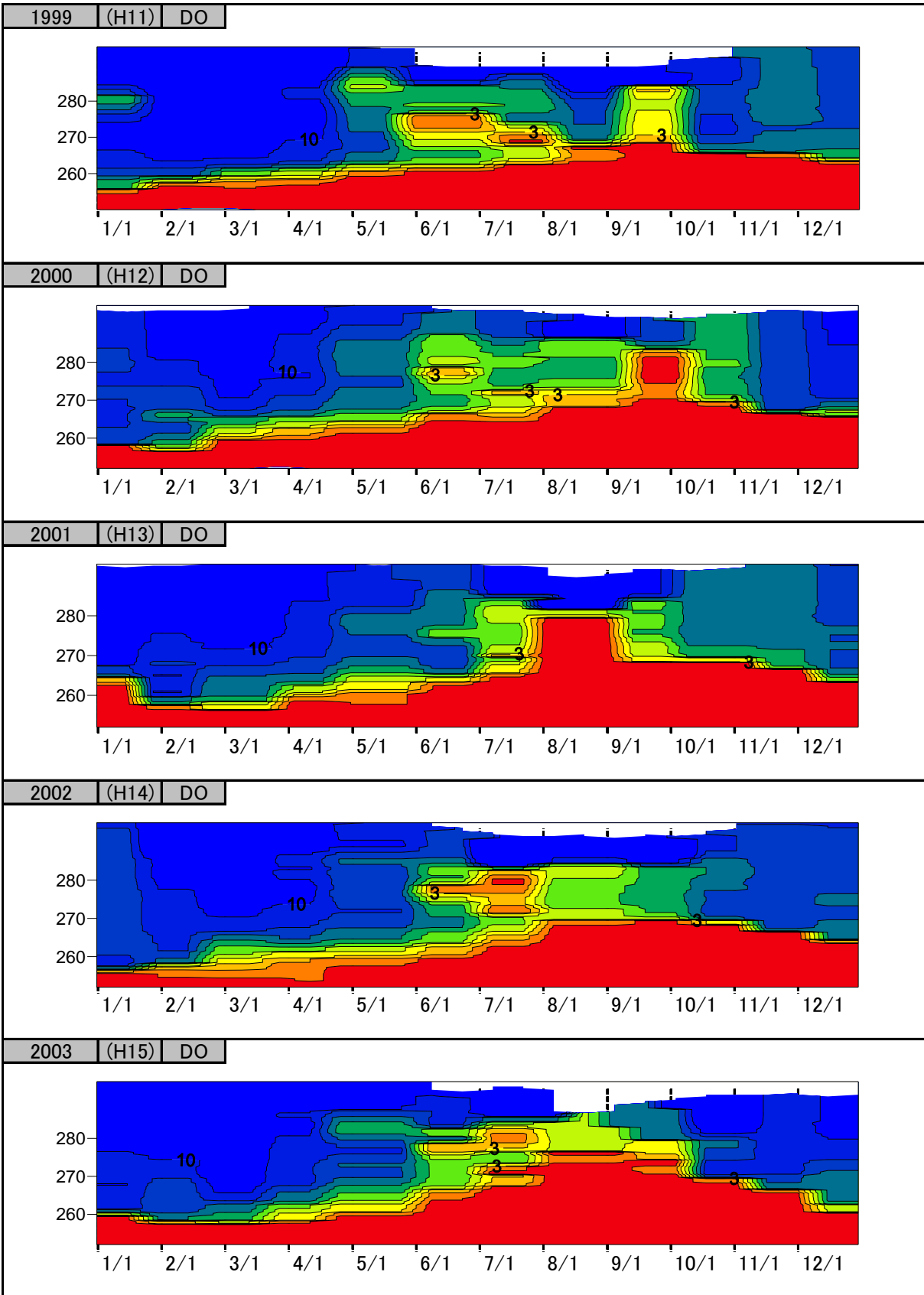


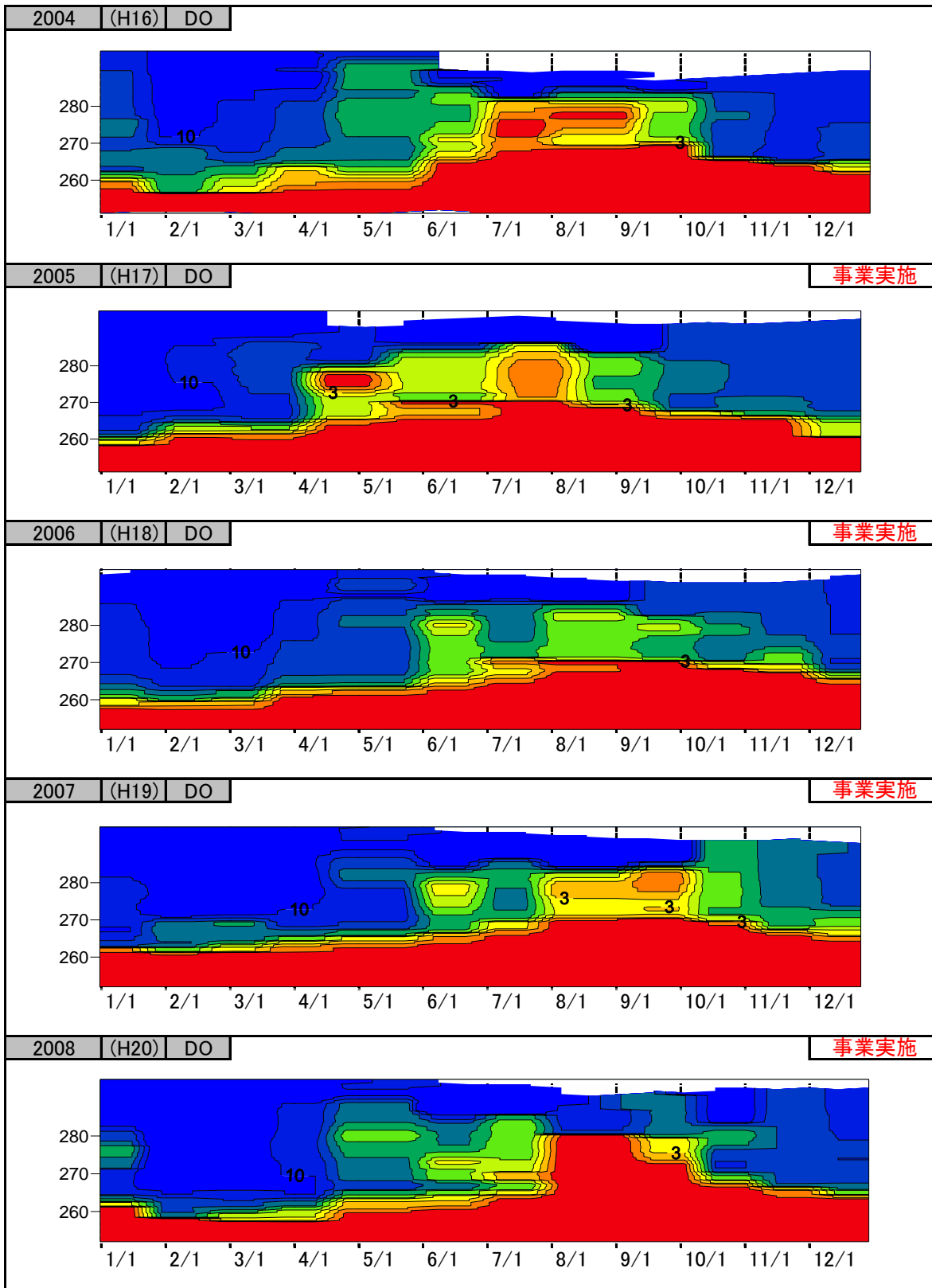


(2) DO 鉛直分布の時系列変化









## 5) アオコ発生ポテンシャルの変化

気象状況については、下表に示すとおり、事業実施前後で大きく変化はしておらず、淡水赤潮・アオコの減少は事業によるものであると考えられる。

表 3-1-8 アオコ増殖要因の整理結果（平成元年～平成20年平均）

年	結果				要因					
	最大Chl-a μg/l	最大Microcystis cells/ml	T-N mg/l	T-P mg/L	流入量 千m3/年	回転率 回/年	α7 回/月	平均気温 ℃	日射量 MJ/m <sup>2</sup>	降水量 mm/年
H元年	43.9	62,500	0.920	0.036	144,542	10.1	1.07	13.3	11.3	1617.0
H2年	36.1	49,178	1.581	0.030	161,474	11.3	0.99	14.0	11.9	1798.0
H3年	23.9	693	0.770	0.023	150,909	10.6	1.23	13.7	10.8	1643.0
H4年	33.6	840	0.340	0.023	121,828	8.5	0.68	13.2	11.1	1276.0
H5年	26.4	10,812	0.915	0.027	157,461	11.0	2.1	12.8	10.3	1758.0
H6年	29.3	160	1.029	0.023	76,270	5.3	0.3	14.0	12.5	1104.0
H7年	27.4	144	0.989	0.021	113,971	8.0	2.1	13.1	11.3	1397.0
H8年	11.2	34	1.184	0.022	74,724	5.2	0.7	12.9	11.4	1127.0
H9年	32.6	680	1.072	0.023	109,874	7.7	2.3	13.5	11.4	1394.0
H10年	38.9	1,415	0.959	0.025	145,480	10.2	1.0	14.5	10.9	1662.0
H11年	16.4	114	1.086	0.023	108,969	7.6	0.8	13.8	10.9	1332.0
H12年	30.7	526,300	1.179	0.026	93,445	6.5	0.4	13.5	7.4	1303.0
H13年	21.4	7,200	1.025	0.022	99,496	7.0	0.3	13.6	13.5	1225.0
H14年	40.5	164,880	0.988	0.019	71,659	5.0	0.49	13.9	12.7	1144.9
H15年	38.0	4,500	0.888	0.028	146,082	10.2	1.11	13.4	11.4	1649.3
H16年	18.2	20,700	0.994	0.020	143,434	10.0	0.43	14.3	13.0	1761.9
H17年	36.9	88,000	0.867	0.023	92,673	6.5	0.79	13.5	12.8	1260.7
H18年	16.7	18,600	0.943	0.020	108,508	7.6	1.54	13.6	12.2	1466.0
H19年	25.8	64	0.839	0.019	94,265	6.6	1.92	13.9	12.9	1389.0
H20年	26.2	0	0.717	0.022	110,046	7.7	0.52	13.8	12.6	1374.0
平均	28.7	47,841	0.964	0.024	116,256			13.6	11.6	1434.1

注) T-N, T-Pは網場表層年平均濃度

\*1 データが1～3月のみ  
\*2 データが3～12月のみ

凡例) 上位 1 下位 1  
2 2  
3 3  
赤色はアオコが発生しやすい年、  
青色は発生しにくい状況を示す。

### 3-2. 室生ダムにおける水質改善結果のまとめ

- 副ダムの設置及び浚渫により、T-P の削減効果が確認された。

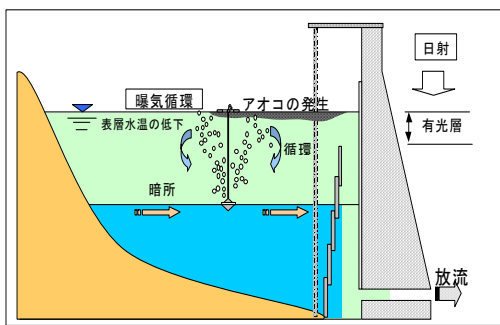
T-P 除去量 : 13,003 kg (8.9 kg / 日) = 目標値 (8.6kg/日) の 103%

- 一旦流入したリンを貯水池内から除去することは困難であり、原因そのものを除去する方法としては副ダムが効果的であると考えられる。
- 貯水池内の淡水赤潮の発生日数は減少した。
- アオコの発生日数は変わっていないが、発生する面積が 10%程度減少した。
- 気象状況は事業前後で大きく変わっていないことから、アオコ等の発生抑制のためには、更なる対策が必要であると考えられる。
- 現在、貯水池内において、底質からの栄養塩類の溶出や表層水の水温上昇の抑制を目的とした水環境改善事業を実施しており（平成 22 年度完了予定）、本事業との相乗効果によりアオコの発生の抑制を行っていく。

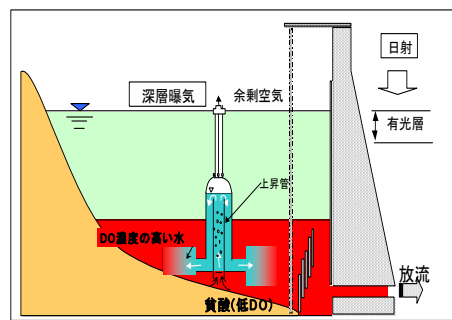


参考：室生ダム水環境改善事業における曝気装置の概要

施設区分	形式	概要
浅層曝気装置	散気式 2基	鉛直方向循環流を生じさせて、表層温度の低下及び日光が届きにくい層へアオコを移動させアオコの発生を抑制する
深層曝気装置	水没エアリフト式 1基	嫌気状態による底層からの栄養塩類（T-P）の溶出を防ぎ、アオコの発生を抑制する



浅層曝気装置



深層曝気装置

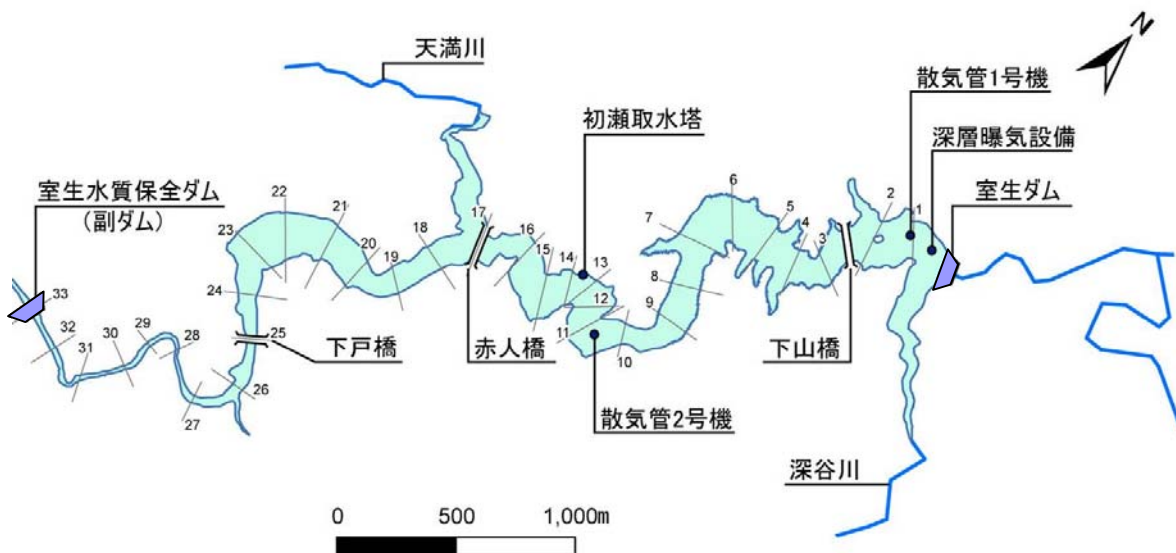


図 3-2-1 曝気設備の概要及び設置位置図

## 参考：室生ダム水環境改善事業における施設規模の選定根拠

### 1) 水質改善目標

表 3-2-1 室生ダム水質改善目標と改善方法、期待される効果

項目	改善目標	改善方法	期待される効果
無酸素水塊解消	(1) 対象水塊 水塊① 水位：EL. 272～258m 夏期水温躍層～水温逆転層 容量：1,930,000m <sup>3</sup> 水塊② 水位：EL. 258m 以深 水温逆転層以深 容量：400,000m <sup>3</sup> (2) DO 濃度：2.0mg/L	水塊①は浅層曝気設備による改善 水塊②は深層曝気設備による改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 栄養塩・金属の溶出抑制</li> <li>● 硫化水素の発生抑制</li> <li>● 栄養塩溶出削減による富栄養化の抑制</li> <li>● 放流水における金属・硫化水素濃度の低減</li> <li>● 水道原水における金属・硫化水素濃度の低減</li> </ul>
アオコ発生抑制	(1) 対象水塊 水位：表層～EL258m 容量：8,480,000～15,230,000m <sup>3</sup> (2) 循環日数：5日以内 (3) 循環水深：20m 以上	浅層曝気設備の曝気循環の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アオコの発生抑制</li> <li>● 水道原水における Chl. a 濃度の低減、浄水コストの低減</li> </ul>

### 2) 浅層曝気設備の検討

#### (1) 必要循環量

散気管の循環対象水量は、上層のアオコ抑制に加え、中層から下層の DO 改善も目的とすることから、水面～EL. 258m を対象とする。

室生ダム貯水池は大規模出水時や濁水時を除き、常時満水位 (EL. 295.5m)～第 2 期制限水位 (EL. 287.5m) の範囲で水位変動する。このときの 散気管の必要循環水量は 8,480,000 (第 2 期制限水位)～15,230,000m<sup>3</sup> (常時満水位時) となる。

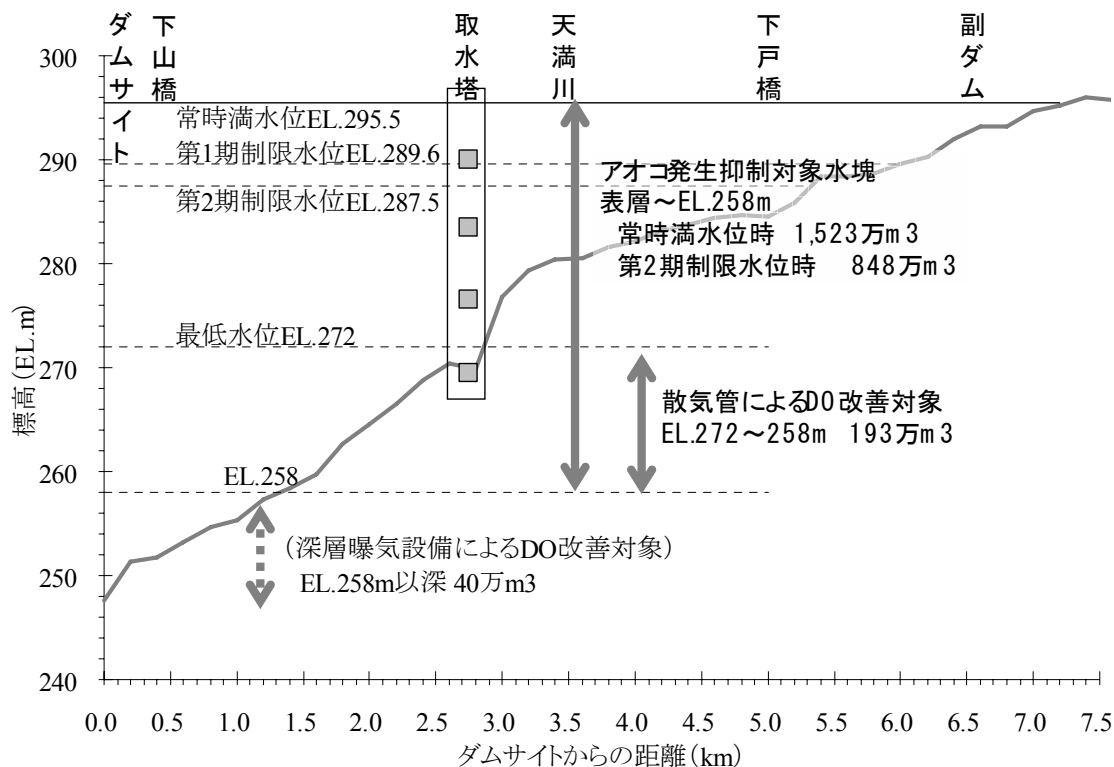


図 3-2-2 散気管（浅層曝気設備）による DO 改善対象

(2) 必要循環日数

アオコ増殖を抑制するために、5 日未満で対象水量を循環させることを目標とする。この根拠は、以下の通りである。

貯水池内の有光層水塊が安定化した（流動が生じない）場合、有光層に存在する植物プランクトンは、最適な環境条件の下で細胞分裂を繰り返して増殖する。この状況は、以下の数式で表すことができる。

$$dM/dt = \mu_{\max} \times f_N \times f_I \times f_T \times M$$

ここで、 $M$ : Chl. a 濃度 (mg/l)、 $\mu_{\max}$ : 最大比増殖速度 (1/日)、 $f_N \cdot f_I \cdot f_T$  はそれぞれ栄養塩濃度、照度、水温に関する影響関数 (0~1) である。なお、本来 Chl. a の変化は植物プランクトン枯死、沈降、捕食等の影響を受けるが、これは略している。最大比増殖速度  $\mu_{\max}$  の値の例を表 3-2-2 に示す。概ね 1.0 のオーダーであり、一般的に水質シミュレーションを行う場合も 1.0~1.5 程度の値を設定する。

表 3-2-2 植物プランクトンの最大比増殖速度の値

(1) 種別				(2) 湖沼別			
種名	水温 ℃	最大比増殖 速度(1/日)	参考文献	湖沼名	最大比増殖 速度(1/日)	参考文献	
緑藻 <i>Chlorella ellipsoidea</i>	25	3.14	4)	琵琶湖 (珪藻)	0.45	7)	
	25	1.2	5)		(その他)	0.80	
	30	2.64	6)	諏訪湖	0.1+0.06T	8)	
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	25	1.96	4)	霞ヶ浦	1.20	9)	
	25	2.15	4)	琵琶湖内マイクロコスム	0.0626T	10)	
	25	3.9	4)	神戸市千刈貯水池	0.5	11)	
	20	2.4	4)	Shagawa 湖	2.4	12)	
	25	0.85	5)	Odense Fjord and Roshilde Icefjord	1.0	13)	
<i>Chlorella vulgaris</i>	25	1.8	4)	Texome 湖の入江	0.097~0.352	14)	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	25	2.02	4)	Western Lake Erie	0.1+0.06T	15)	
	25	0.88	5)	Washington 湖	1~2	16)	
<i>Scenedesmus obliquus</i>	25	1.52	4)	San Francisco 湾	1.5~2	16)	
<i>Scenedesmus costulus</i>	24.5	0.47	5)	Upper Potomac Estuary	0.1T	17)	
<i>Scenedesmus sp.</i>	30	2.4	6)	Lyngby Lake	2.3, 2.53	18)	
<i>Engelena gracilis</i>	25	0.60	5)	Glums 湖			
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	25	2.64	4)	デンマークの湖沼	0.8~2.4	19)	
珪藻 <i>Synedra sp.</i>	20	0.96	6)	-	1.1~1.6	20)	
(海産) <i>Nitzschia closterium</i>	27	1.75	4)				
藍藻 <i>Anabaena cylindrica</i>	23	0.32	5)				
	25	0.75	5)				
	30	0.72	6)				
<i>Anabaena variabilis</i>	25	0.70	5)				

T: 水温(°C)

上式において、 $f_N \cdot f_I \cdot f_T$ を全て1 (すなわち、栄養塩・光・水温などでアオコ増殖に最も適した環境条件となった状態) と考えた上で、最大比増殖速度  $\mu_{max}$  が 1.0 および 1.5 の 2 ケースについて、Chl. a 初期濃度が  $1.0 \mu\text{g/L}$  の時のその後の経過を試算すると、5~6 日程度で Chl. a 濃度が  $40 \mu\text{g/L}$  を超過する試算結果となっている (表 3-2-3)。

以上より、5 日未満で対象水量を循環させることが、アオコ増殖を抑制するための一つの目安になるものと考えられる。

表 3-2-3 アオコ増殖ポテンシャルの試算結果

経過日数 t	最大比増殖速度1.0 (1/日)		最大比増殖速度1.5 (1/日)	
	増殖Chl.a (dM/dt)	Chl.a (M)	増殖Chl.a (dM/dt)	Chl.a (M)
	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
0	-	1.0	-	1.0
1	1.0	2.0	1.5	2.5
2	2.0	4.0	3.8	6.3
3	4.0	8.0	9.4	15.6
4	8.0	16.0	23.4	39.1
5	16.0	32.0	58.6	97.7
6	32.0	64.0	146.5	244.1

### (3) 散気管の循環水量

散気管の1日あたりの循環水量については、埼玉大学浅枝教授により、以下の理論式が提案されている。

循環水量算定式

$$Q_c = Q_f + Q_e$$

ここで、 $Q_c$ :循環水量( $m^3/s$ )、 $Q_f$ :気泡による揚水量( $m^3/s$ )、 $Q_e$ :連行水量( $m^3/s$ )である。各々の水量は以下の式で与えられる。

$$Q_f = 0.302 \cdot Q_A \cdot \left( \frac{Z}{L_m} \right)^{\frac{4}{3}}$$

$$L_m = \left( \frac{Q_A^2}{g} \right)^{0.2}$$

$$Q_e = \frac{0.18 \cdot Fr^3 \cdot Q_f}{1 + 0.2 \cdot Fr^3}$$

ここで、 $Q_A$ :吐出空気量( $m^3/s$ )、 $L_m$ :気泡による混合運動長さのスケール(m)、 $g$ :重力加速度( $m/s^2$ )、 $Z$ :気泡発生装置からの高さ(m)、 $Fr$ :内部フルード数である。揚水量は $Z$ の関数であることから、散気管の吐出位置が深いほど、循環水量は大きくなる。

内部フルード数は浅枝らにより、以下の経験式が提案されている。

$$Fr = \frac{\omega_n}{\sqrt{\frac{(\rho_{au} - \rho_u)}{\rho_0} \cdot g \cdot b_u}}$$

ここで、 $\omega_n$ :中間層上端におけるブルーム上昇速度( $m/s$ )、 $b_u$ :中間層上端におけるブルーム半径(m)、 $\rho_{au}$ :中間層上端の密度、 $\rho_u$ :中間層下端の密度、 $\rho_0$ :基準密度である。一般に内部フルード数の変動幅は小さいため、ここでは代表値として4.0として設定する。よって、連行水量 $Q_e$ は、

$$Q_e = 0.83 \cdot Q_f$$

として与えられる。従って、散気管による任意の水深での循環水量は、

$$Q_c = 1.83 \cdot Q_f$$

$$= 0.553 \cdot Q_A \cdot \left( \frac{Z}{L_m} \right)^{\frac{4}{3}}$$

これより、EL.258mから散気管を稼動した場合、常時満水位及び第2期制限水位までの距離 $Z=29.5\sim 37.5m$ と設定される。

なお、散気管は深い位置から吐出した場合、水表面に到達する前に気泡が水中に溶解し、循環流が発生しにくくなるケースも生じる(図3-2-3参照)。但し、高山ダム(最大35m水深)の事例にあるように、吐出空気量が大きい場合は、上記課題は生じにくいものと考えられる。ここでは、室生ダムの曝気水深が29.5~37.5mとなることから、導入するコンプレッサーは高山ダムと同様に37kw( $Q_A=5.6m^3/min$ )として設定する。

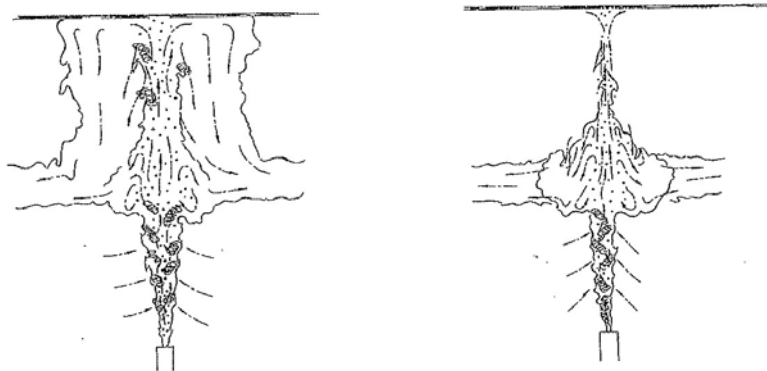


図 3-2-3 散気管による循環流形成イメージ(左図:理想状態、右図:循環不足状態)

埼玉大学浅枝教授資料より

以上より、散気管 1 基あたりの平均循環水量は、  
 $Q_c = 116 \sim 159$  万  $m^3$ /日  
 と算定される。

#### (4) 必要基数の算定

散気管による改善対象水量 8,480,000  $m^3$  (第 2 期制限水位時)  $\sim$  15,230,000  $m^3$  (常時満水位時) を 5 日で循環させればアオコの増殖を抑制することが可能になると考えられる。これより、1 日あたりの必要循環量は以下の通りである。

常時満水位時 :  $15,230,000 \text{ m}^3 \div 5 \text{ 日} = 304.6 \text{ 万 m}^3/\text{日}$   
 第 2 期制限水位時 :  $8,480,000 \text{ m}^3 \div 5 \text{ 日} = 169.6 \text{ 万 m}^3/\text{日}$

これより、散気管の必要基数は、

常時満水位時 :  $304.6 \text{ 万 m}^3/\text{日} \div 159 \text{ 万 m}^3/\text{日} = 1.92 \text{ 基}$   
 第 2 期制限水位時 :  $169.6 \text{ 万 m}^3/\text{日} \div 116 \text{ 万 m}^3/\text{日} = 1.46 \text{ 基}$

と算定され、室生ダムの貯水位が高い場合、低い場合いずれも、2 基 (37kW コンプレッサ一) 設置すれば改善効果が得られるとわかった。

以上より、室生ダム貯水池に必要な散気管基数は 2 基(37kw)として設定する。

(5) 設置箇所

室生ダムの水質形成機構や、水質改善面から求められる要件を踏まえて、昨年度検討で検討された設置箇所・散気深を再検討する。設置箇所については、下記の考え方から、ダムサイトおよび初瀬取水塔近傍に設置するものとする。

- (a) 散気管 2 基は 2～3km 離すことが効果的である（高山ダムにおける事例より）。
- (b) 1 号機は、EL258～272m の D0 改善、万が一の場合はさらに EL255～258m の D0 改善を兼ねるため、水深が深いダムサイト近傍が望ましい。さらには、深谷川筋の滞留解消・水質改善面からも、ダムサイト近傍が望ましい
- (c) 2 号機は、初瀬取水塔における水質改善を考え、取水塔近傍が望ましい

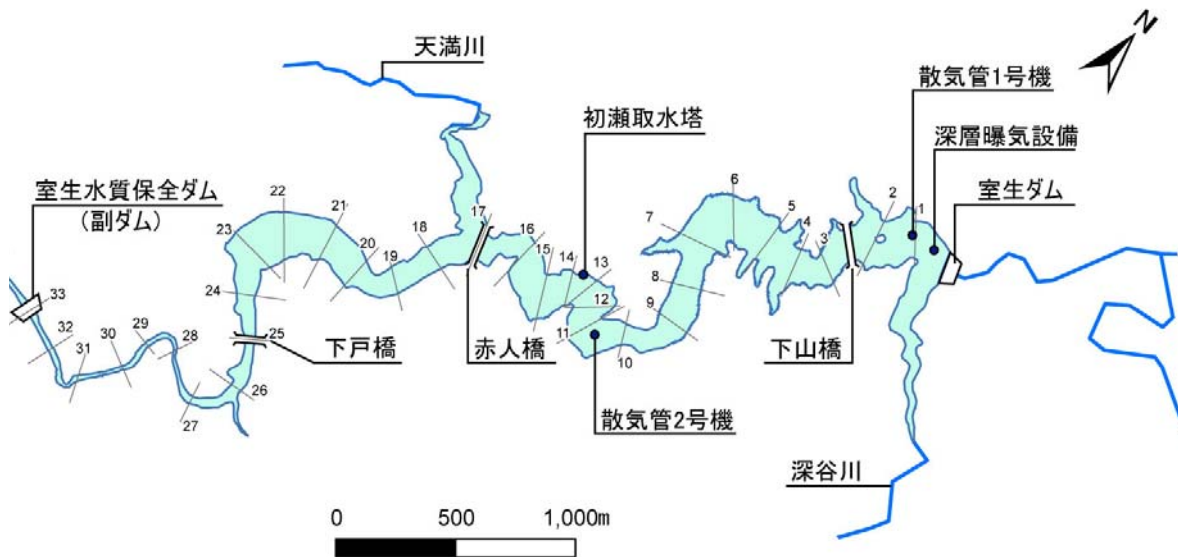


図 3-2-4 室生ダム曝気設備配置図

### 3) 深層曝気設備の検討

#### (1) 酸素消費速度の検討

室生ダム底層では経年的に無酸素状態が保持されているが、過年度の定期調査によると、平成3年1月に一度全層循環している(図 3-2-5 参照)。この際に下層の DO 濃度も回復しており、その後、5月までに再び下層が無酸素化している。この期間の調査結果から、「DO 消費濃度/日数」により室生ダム貯水池下層の DO 消費速度を算定した。

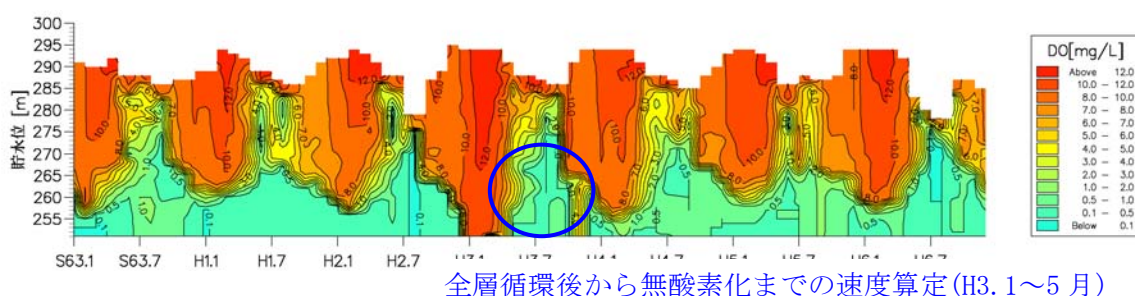


図 3-2-5 室生ダム網場地点 DO 時系列コンター

表 3-2-4 室生ダム DO 消費速度算定結果

			H3. 2. 21	H3. 3. 15	H3. 4. 25	H3. 5. 22
DO濃度	EL. 258以深	mg/L	11.28	9.43	6.60	1.04
	最深部	mg/L	11.30	9.90	6.60	0.50
日数		日	—	22	41	27
消費速度	EL. 258以深	mg/L/日	—	0.08	0.07	0.21
	最深部	mg/L/日	—	0.06	0.08	0.23

これより、室生ダム貯水池における DO 消費速度(最大値)を 0.23mg/L/日と設定する。

#### (2) 酸素移動効率

深層曝気装置による酸素供給は、コンプレッサーで加圧した空気を上昇管の下部に取り付けた空気分散装置により細かい気泡にして放出し、この気泡の混入した深層水が上昇管を上昇する間に、空気中に容積比率で 21%含まれている酸素が大気中より水中に移動して行われるものである。この時に送り込んだ空気中から水中へ移動する酸素の割合が、酸素移動効率である。

酸素移動効率に大きく影響するものとして、深層水の DO 濃度がある。これは、DO 濃度が低いほど、空気中の酸素が水中へ移動しやすくなるもので、図 3-2-6 に示すように、比奈知ダム深層曝気装置の調査・解析結果からも相関性が高い関係が得られている。



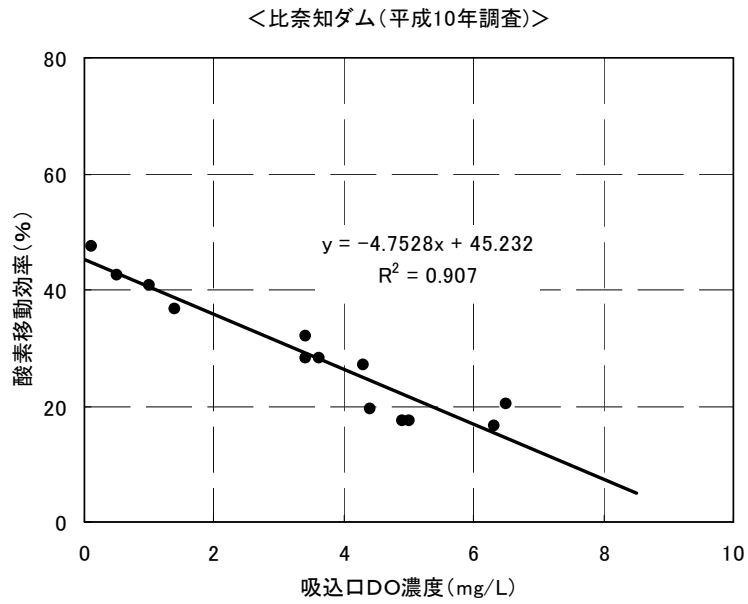


図3-2-6 比奈知ダム深層曝気装置における酸素移動効率算定結果図(平成10年調査)

これを用い、以下の式により酸素移動効率を設定する。

$$\text{酸素移動効率 } E = -0.0475 \times D0 + 0.45$$

ここで、D0:吸入口でのD0濃度(改善前D0濃度:mg/L)である。

### (3) 必要規模

エアリフト型深層曝気設備と同様に、改善対象水量  $V=400,000\text{m}^3$ 、酸素消費速度  $D=0.23\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 、安全率 $=2.0$ 、酸素移動効率 $=0.355$  として必要空気量を計算すると、以下のとおりとなる。

$$O_c=0.23 \times 400,000 \times 10^{-6}=0.092 \text{ (t/日)}$$

$$E=-0.0475 \times D_0+0.45$$

$$D_0=2\text{mg}/\text{L} \text{ として } E=-0.0475 \times 2+0.45=0.355$$

$$Q_A=2.51 \times 2.0 \times (1/0.355) \times 0.092=1.31\text{m}^3/\text{min} \text{ (78m}^3/\text{hr)}$$

以上より、必要基数は1基 (空気量78m<sup>3</sup>/hr)となる。

### (4) 深層曝気設備の設置箇所

深層曝気設備1基による  $D_0$  改善効果が、改善対象40万  $\text{m}^3$  (ダムサイト～堆砂測量測線 No.6 付近) 全体に及ぶことを確認する。

ダムサイト～下山橋 (堆砂測量測線 No.2～3 間) 区間の湖底形状は、平成17年度のマルチ画像により確認することができる。この区間においては、湖底に突起等の障害はなく、ダムサイトに設置した1基で  $D_0$  改善効果は問題なく得られるとわかる。

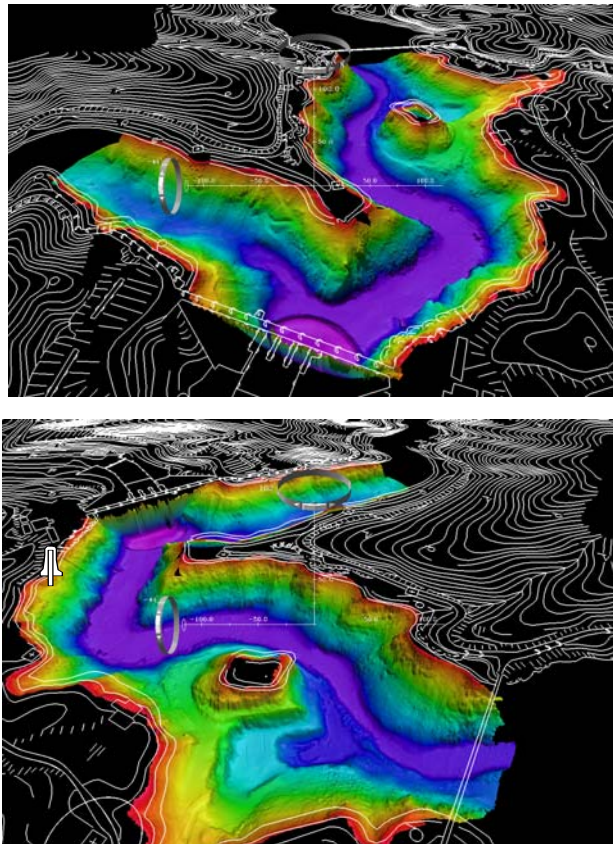


図 3-2-7 ダムサイト～下山橋の湖底状況 (上: 下流側より、下: 上流側より)