

4. 気候変動によるダム貯水池の水質変化試算

4.1 将来予測シナリオと予測計算ケース

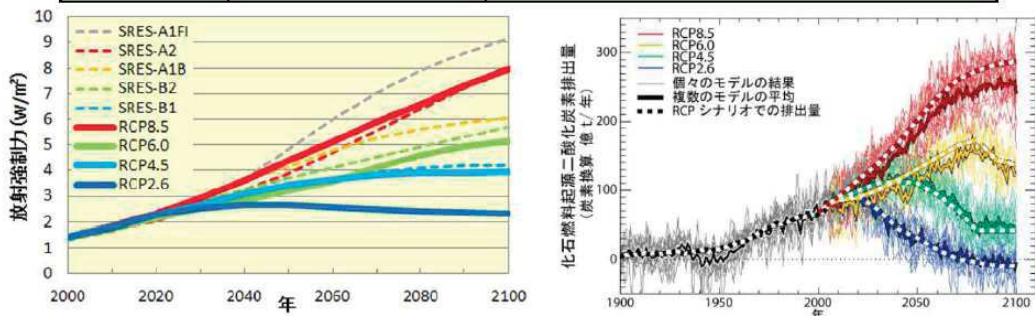
(1) 将来予測シナリオ

2014年6月6日に環境省が日本国内における気候変動による影響の評価のための気候変動予測に供することを目的に、RCPシナリオに基づいた地域気候モデル(MRI-NHRCM20:水平格子間隔20km)の出力結果を公表しており、本検討では、同出力結果を用いたダム貯水池の水質変化試算を実施する。

RCPシナリオは、政策的な温室効果ガスの緩和策を前提として、将来の温室効果ガス安定化レベルとそこに至るまでの経路のうち代表的なもの(代表的濃度経路)を選び作成したシナリオである。このRCPシナリオには放射強制力の変化に応じて、RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5、RCP2.6の4つのシナリオが存在する。

【参考資料IV】RCPシナリオについて

シナリオ略称	シナリオ名称	放射強制力の変化
RCP8.5	高位参照シナリオ	2100年以降も上昇が続く
RCP6.0	高位安定化シナリオ	2100年以降に安定化する
RCP4.5	中位安定化シナリオ	2100年までに安定化する
RCP2.6	低位安定化シナリオ	2100年までにピークを迎えその後減少する



(左)RCPシナリオに基づく放射強制力(RCPシナリオで定める4つの放射強制力の経路を実線で示す。比較のためSRESシナリオに基づいて求めた放射強制力を破線で示す。)

(右)RCPシナリオに対応する化石燃料からの二酸化炭素排出量(地球システムモデルによる逆算の結果。細線:個々のモデルの結果、太線:複数のモデルの平均)

文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省 2013年9月27日報道発表資料をもとに作成

図 4-1 RCPシナリオについて

出典:「日本国内における気候変動による影響の評価のための気候変動予測」2014.6 環境省^{文献2)}

(2) 予測計算ケース

環境省が公表するRCPシナリオに基づく気候変動予測モデルによる予測出力結果(全19ケース)のうち、以下に示す考え方により表4-1に示す計7ケースを予測計算ケースとして選定した。

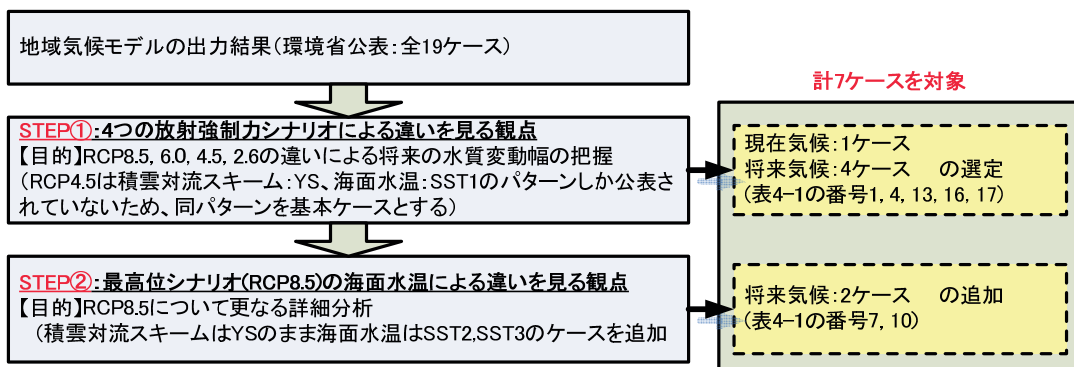


図 4-2 予測計算ケースの選定

表 4-1 RCP シナリオ全 19 ケースのうち本検討で採用した予測ケース

番号	計算期間	シナリオ	海面水温	積雲対流スキーム	ケース名
1	現在気候 3ケース	-	HadISST	YS	HPA_m02
2			HadISST	KF	HPA_kf_m02
3			HadISST	AS	HPA_as_m02
4	将来気候 16ケース	RCP8.5 9ケース	SST1	YS	HFA_rcp85_c1
5			SST1	KF	HFA_kf_rcp85_c1
6			SST1	AS	HFA_as_rcp85_c1
7			SST2	YS	HFA_rcp85_c2
8			SST2	KF	HFA_kf_rcp85_c2
9			SST2	AS	HFA_as_rcp85_c2
10			SST3	YS	HFA_rcp85_c3
11			SST3	KF	HFA_kf_rcp85_c3
12			SST3	AS	HFA_as_rcp85_c3
13		RCP6.0 3ケース	SST1	YS	HFA_rcp60_c1
14			SST2	YS	HFA_rcp60_c2
15			SST3	YS	HFA_rcp60_c3
16		RCP4.5 1ケース	SST1	YS	HFA_rcp45_c1
-			SST2	YS	HFA_rcp45_c2
-			SST3	YS	HFA_rcp45_c3
17		RCP2.6 3ケース	SST1	YS	HFA_rcp26_c1
18	SST2		YS	HFA_rcp26_c2	
19	SST3		YS	HFA_rcp26_c3	

RCP4.5 の 2 ケース (c2,c3) は平成 26 年度時点で計算未実施

・・・本検討対象ケース

4.2 予測計算条件

本検討では対象とした 7 ケースの気候変動予測モデル出力値を用いて、前項で構築した流出、利水、水質モデルを用いて、気候変動によるダム貯水池の水質変化試算を行うものである。

以下に気象条件となる気温、降水量に関するモデル出力値のバイアス補正方法、およびそれらを条件とした流出・利水計算、水質計算の計算条件を示す。

(1) 気温及び降水量データのバイアス補正方法

気候変動予測モデルの現在気候における出力結果には、観測値と差がある。そのため、気候変動予測モデルの出力値については、長期的な平均や分散等の統計的な観点から、観測値に近づけるバイアス補正を行った上で、取り扱う必要がある。

本検討では、気候変動予測モデル出力値のうち気温、降水量に対して、表 4-2 に示す手法によりバイアス補正を実施した。気温は月毎に概ねの変化傾向が決まっており、当該月中ではモデル値と観測値の日値の誤差は同程度と考えられることから差分法により補正した。降水量は気温とは異なり年によって当該月中の降水頻度が異なることから、モデル値と観測値の累積分布関数(CDF)を作成し、パーセンタイル毎に補正する CDFDM 法を採用した。

表 4-2 バイアス補正方法

気象要素	バイアス補正方法	手順概要
気温	差分法 (図 4-3参照)	①対象メッシュ毎に観測値とモデル値(現在気候)の月毎の平均気温を算出する。観測値とモデル値の差(モデル値-観測値)を月別に算出し補正值(バイアス)とする。 ②モデル値(将来気候)の値から当該月の補正值を増減させる。
降水量	CDFDM 法 (図 4-4参照)	①観測値とモデル値(現在)を昇順に並べ替える。(月別) ②観測値とモデル値を比較するため、月別の累積分布関数(CDF)を構築し、観測値と同じパーセンタイルのモデル値の比を算出しモデル誤差(バイアス=観測値/モデル値)とする。気候変動モデルの将来気候で構築した CDF に対応するパーセンタイル時のバイアスを当該データに乗じる。(モデル補正值=モデル値(将来)×バイアス(比率)) ③補正したモデル値(将来)を日付順に並べ替える。

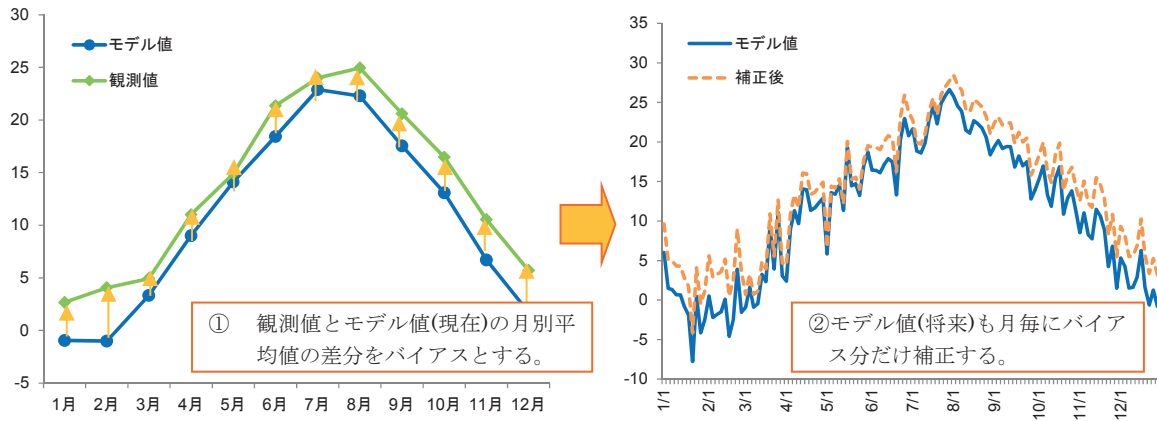
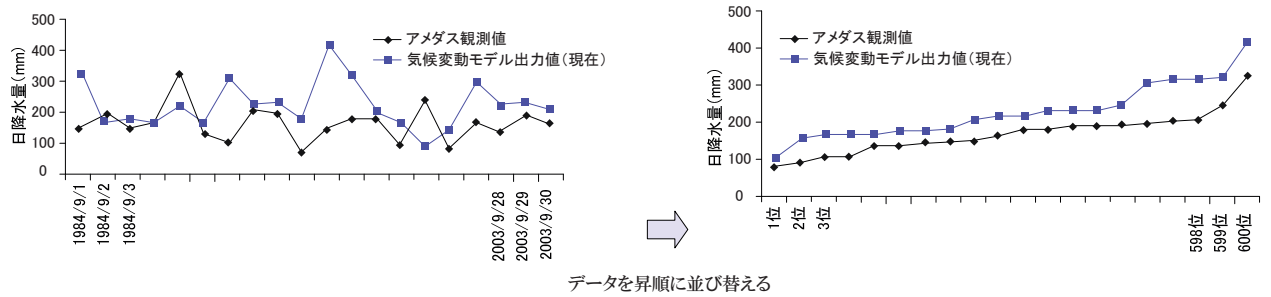
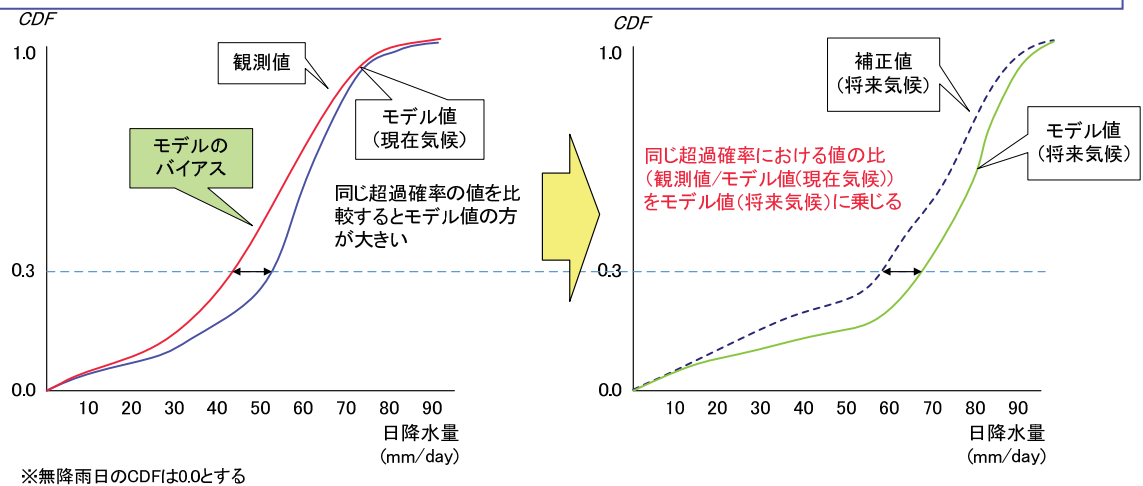


図 4-3 気温のバイアス補正方法 (差分法)

① データを昇順に並び替える (月毎に処理する。)



② 観測値、モデル値ごとに CDF を作成し、同じパーセンタイル毎にバイアス(=観測値/モデル値(現在気候))を算出し、将来のモデル値にも適用する。



③ 補正した将来のモデル値を日付順に並び替える。(月毎に処理する。)

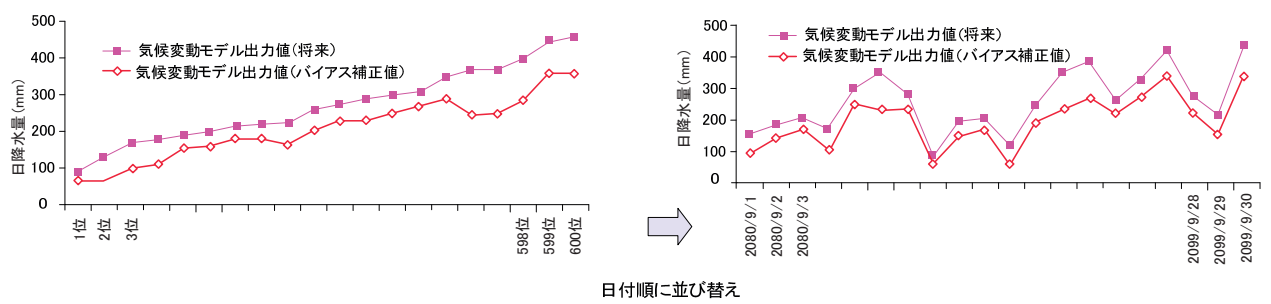


図 4-4 降水量のバイアス補正方法 (CDFDM 法)

(2) 流出・利水計算条件

気候変動予測モデル出力値（バイアス補正後）を用いて、ケーススタディダムにおける将来気候の流出量を算出した。

予測計算条件を以下に示す。

- 気温、降水量は前項で示した各ケースのモデル出力値（バイアス補正後）を用いた。
- 日射量は図 4-5に示す、ダム地点における実績(1984-2004 年)の降水量と日射率（当該日の日射量/ダム地点最大包絡値）の関係を月別に作成し、降水量から推定するものとした。
- 相対湿度は図 4-5に示す、ダム地点における実績(1984-2004 年)の降水量と相対湿度の関係を月別に作成し、降水量から推定するものとした。
- 風速は代表地点における実績(1984-2004 年)から、月別パターンを作成し予測条件として設定した。

なお、利水計算においては、下流の取水量を現況期間での近 5 カ年平均パターンとし、ダム運用計算を実施した。

表 4-3 流出、利水計算条件

項目	内容	
計算モデル	分布型流出モデル（WEP モデル）	
計算期間	現在気候 : 1984 年 9 月～2004 年 8 月 将来気候 : 2080 年 9 月～2100 年 8 月	
地形・地質形状	検証計算と同様	
気象条件	気温	バイアス補正後のモデル出力値
	降水量	バイアス補正後のモデル出力値
	日射量 日照時間	降水量と関係式から日射率を算出し、最大可能日照時間及び最大可能日射量に乗じて推定
	湿度	降水量からの推定値
	風速	実績値による月平均値
下流基準点の取水量 (利水計算)	現在気候期間における近 5 カ年の日平均パターン	

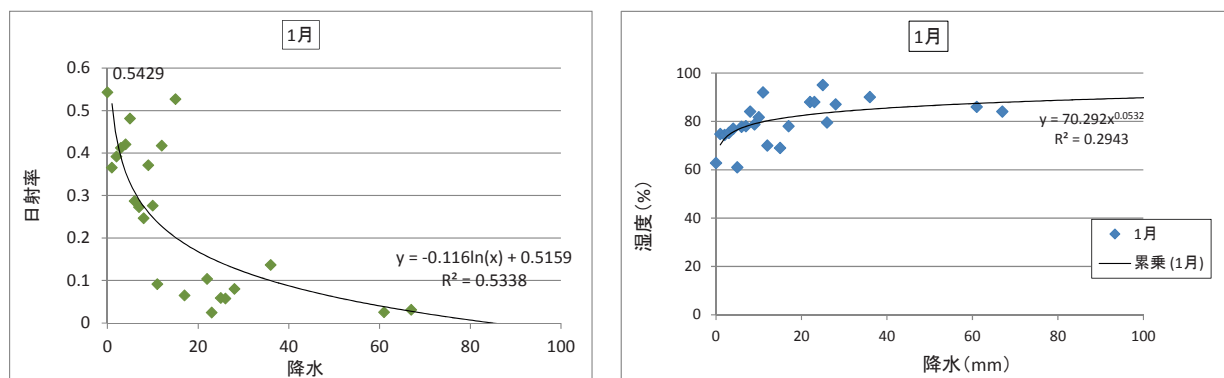


図 4-5 将来予測における気温・降水量以外の気象条件の設定方法（左：日射率、右：相対湿度）

(3) 水質計算条件

流出モデルおよび利水モデル出力結果を用いて、貯水池内の水質予測を行った。予測計算条件を以下に示す。

- ▶ 流入量は流出モデルの出力値、放流量は利水モデルの出力値を用いた。
- ▶ 気象条件は、基本的に流出モデルと同様である。なお、雲量については、図 4-6に示す、ダム地点における日射率（当該日の日射量/ダム地点最大包絡値）と雲量の関係から推定した。
- ▶ 水質保全施設は、現状で設置されている施設を最新のルールで運用するものとした。

表 4-4 水質計算条件

項目		内容
計算モデル		鉛直二次元モデル
計算期間		現在気候 : 1984年9月~2004年8月 将来気候 : 2080年9月~2100年8月
貯水池形状		検証計算と同様
流入量		流出モデルの計算結果
放流量		利水モデルの計算結果
気象条件	気温	バイアス補正した日平均気温（流出モデルと同様）
	日射量	降水量により日射率を設定（流出モデルと同様） 最大可能日射量を上限とする。
	湿度	降水量からの推定値（流出モデルで設定する条件のダム貯水池に該当するメッシュの値）
	風速	実績値による月平均値（流出モデルで設定する条件のダム貯水池に該当するメッシュの値）
	雲量	日射率からの推定値
流入水温		気温との関係式で日平均水温を設定（検証計算と同様）
流入水質		ダム流入流量からLQ式で設定（検証計算と同様）
選択取水の取水位置		最新の施設諸元、運用ルールを設定
水質保全施設の運転状況		最新の施設諸元、運用ルールを設定

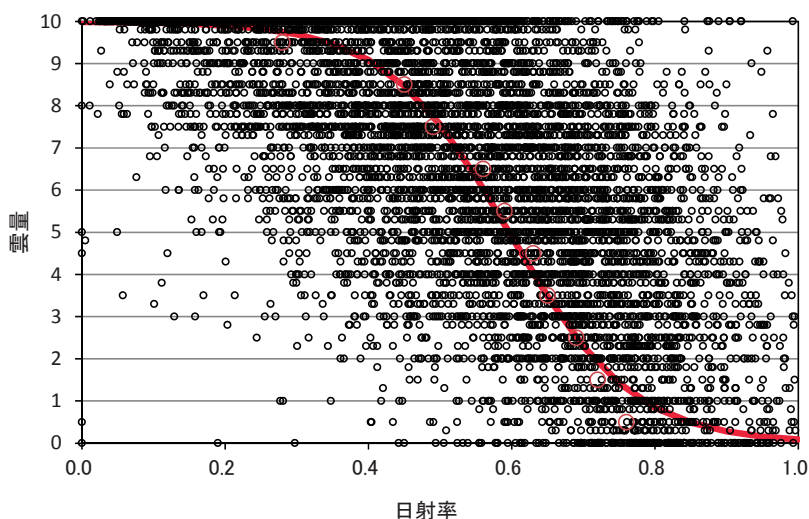


図 4-6 日射率と雲量の関係（釜房ダムの例）

4.3 気候変動によるダム貯水池の流出・水質変化予測結果

各ダムにおける対象 7 ケースの気候変動による気象、流況の変化および水質の変化試算結果について以下に示す。なお水質の変化試算結果の整理については、P2 に示すとおり、「藻類増殖」、「底層水質悪化」、「濁度の上昇」、「水温の上昇」に分類し同頁の※1～※4 に記した指標で評価を行っている。本研究は、P1 で記したとおり、気候変動による「ダム貯水池」の水質に与える影響について定量的な評価を主目的としているが、ダムの放流水温はダムの下流部の河川環境への気候変動への影響を検討する上で重要な項目となりうるため、「水温の上昇」に分類し整理している。

(1) 釜房ダム

1) 気象条件、流況の変化

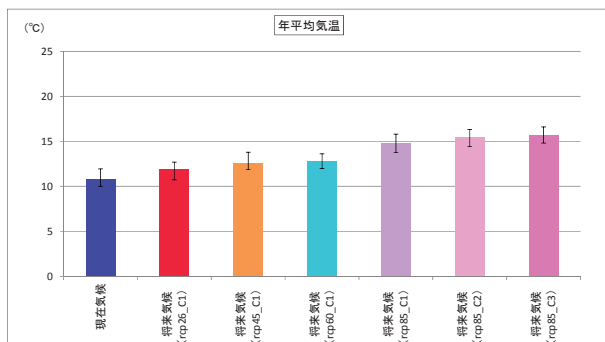
釜房ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

表 4-5 気候変動による気象条件、流況の変化

	項目	変化の概要
気象条件	気温 (図 4-7)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比較して放射強制力の強い将来気候 RCP8.5 の 3 ケース (C1,C2,C3)の気温上昇幅が大きく、特に RCP8.5_C3 では年平均で 4.9℃ の気温上昇が確認される。 ▶ 月別では 1月,2月の気温上昇幅がやや大きいものの、概ね年間一律で気温上昇が確認される。
	降水量 (図 4-8)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 年間降水量の変化傾向は、放射強制力の大小と明瞭な関係が見出されない。 ▶ 月別では、夏季(6月~9月)のケース毎のバラつきが大きい。8月降水量は現在気候が最も多く、放射強制力の大きいケースほど少なくなる傾向も確認される。
流況	ダム流入量 (図 4-9)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射強制力の強いケースほど気温上昇に伴う蒸発量の増加により、ダム地点年総流入量の平均値がやや減少する傾向がある。 ▶ 月別では現在気候と比較して将来気候では気温上昇の影響で 4月、5月の融雪出水が減少している。

単位: (°C)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	10.8	11.8	12.6	12.8	14.8	15.5	15.7
最大値	11.9	12.7	13.8	13.6	15.8	16.3	16.6
最小値	10.0	10.7	11.9	12.0	13.8	14.4	14.8



単位: (°C)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	-0.2	1.1	1.8	2.2	4.2	5.3	5.4
2月	0.4	1.6	1.7	2.6	4.1	5.2	5.7
3月	3.2	4.4	5.0	4.8	7.5	8.0	8.4
4月	9.2	10.2	11.0	10.7	12.6	13.3	13.7
5月	14.0	14.7	15.9	15.9	17.9	18.5	18.3
6月	17.6	18.4	19.1	19.7	21.3	21.3	22.0
7月	21.2	22.1	23.0	23.1	25.2	25.4	25.9
8月	22.6	23.6	24.7	24.6	26.8	27.4	27.6
9月	18.8	19.9	21.1	20.6	23.0	23.5	23.9
10月	12.9	14.1	14.9	14.9	17.5	17.8	17.9
11月	7.1	8.4	9.3	9.2	11.8	12.4	12.3
12月	2.6	3.4	4.0	4.7	5.9	7.8	7.5
年平均	10.8	11.8	12.6	12.8	14.8	15.5	15.7

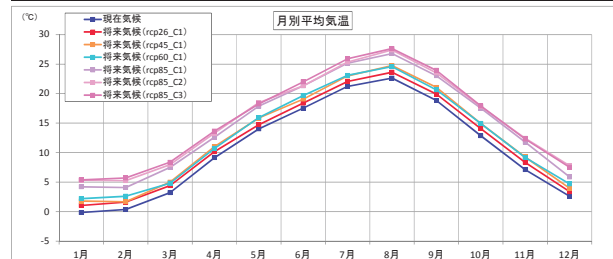
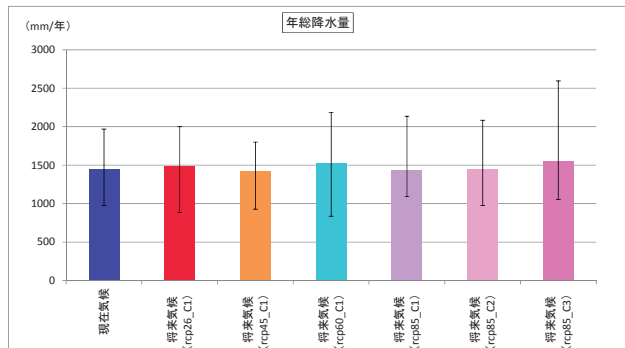


図 4-7 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

単位: (mm/年)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	1,449	1,490	1,424	1,531	1,434	1,443	1,555
最大値	1,968	2,001	1,799	2,184	2,135	2,083	2,597
最小値	974	882	928	836	1,091	974	1,051



単位: (mm/月)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	57	65	65	56	59	66	75
2月	51	56	57	58	46	58	56
3月	85	100	109	95	106	109	108
4月	95	99	97	90	99	104	120
5月	109	97	94	87	104	97	99
6月	163	139	109	212	147	173	166
7月	204	236	216	230	183	171	265
8月	220	211	175	192	172	183	154
9月	222	209	257	270	264	224	258
10月	117	136	122	116	111	130	128
11月	82	99	82	77	101	80	77
12月	44	43	42	49	43	47	50
年合計	1,449	1,490	1,424	1,531	1,434	1,443	1,555

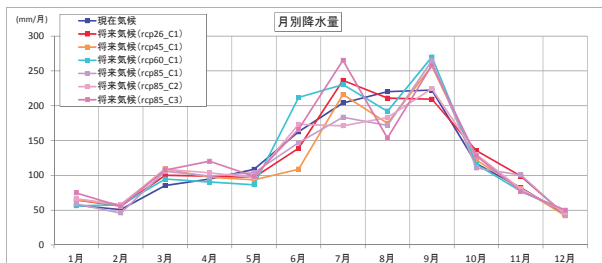
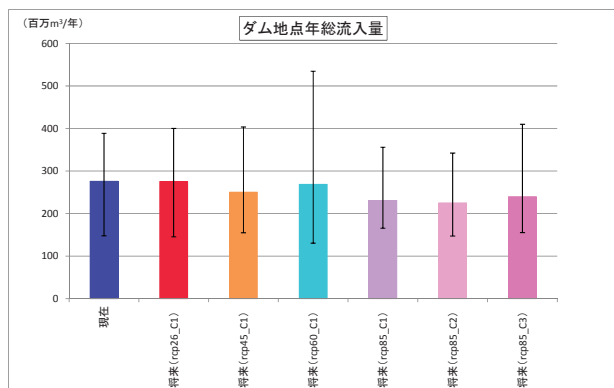


図 4-8 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: (百万m³/年)

	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
平均	275.9	275.5	250.3	268.7	230.9	225.2	239.6
最大値	388.7	400.2	403.5	534.5	355.8	342.4	410.0
最小値	147.8	145.1	154.7	130.5	165.6	147.0	154.9



単位: (m³/s)

	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
1月	5.4	5.6	5.7	5.3	5.5	5.9	5.7
2月	5.4	5.7	5.5	6.2	4.9	5.7	5.5
3月	7.7	9.1	10.3	8.6	8.0	8.1	7.3
4月	13.6	11.8	10.5	10.2	7.4	6.8	6.8
5月	8.2	8.0	4.9	5.3	4.9	4.6	5.7
6月	7.8	6.7	4.9	10.5	6.8	7.8	7.3
7月	9.2	11.0	9.0	10.7	7.3	7.2	12.0
8月	11.3	11.5	7.2	10.3	8.1	7.6	8.9
9月	13.2	12.4	14.9	16.5	16.2	13.4	12.4
10月	8.2	9.0	8.6	8.0	6.7	7.9	8.2
11月	6.7	8.2	6.6	6.0	7.2	5.5	5.8
12月	5.5	5.3	4.6	5.4	4.5	4.4	5.0

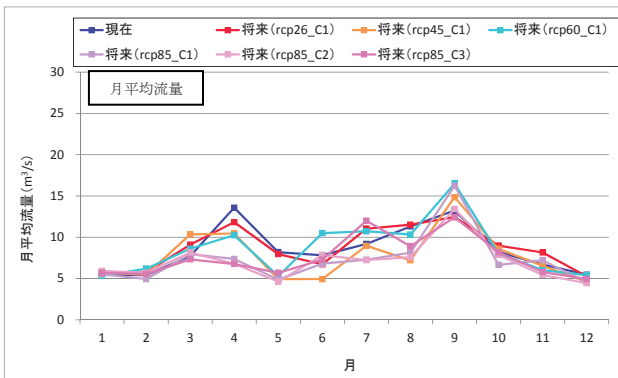


図 4-9 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

2) 水質の変化

釜房ダムにおける水質の変化について以下に示す。

釜房ダムでは気候変動により、藻類増殖時期の早期化、温水放流の増加といった水質の変化が確認される。

表 4-6 気候変動による水質の変化

水質変化現象	変化の概要
藻類増殖 (図 4-10 ～図 4-11)	<ul style="list-style-type: none"> 表層 Chl-a の年平均値で 8.0$\mu\text{g/L}$(現在)と 10.3$\mu\text{g/L}$(将来:RCP8.5_C2)で最大 2.3$\mu\text{g/L}$ の増加となる。年間の Chl-a25$\mu\text{g/L}$(OECD 富栄養化限界)超過日数では、0 日(現在)と 7 日(将来:RCP8.5_C1)で最大 7 日増加する。 現在気候と比較すると、水温上昇に伴い藻類増殖時期が 1 か月程度早期化する傾向が見られる。
底層水質悪化 (図 4-12)	<ul style="list-style-type: none"> 釜房ダムでは深層曝気が設置されていることもあり、底層 DO が 2mg/L 未満(溶出が生じやすくなる DO レベル)となることはほとんどない。
濁度の上昇 (図 4-13)	<ul style="list-style-type: none"> 年平均表層 SS 濃度で 3.2mg/L(現在)と 3.6mg/L(将来_RCP8.5_C1)となり変化は小さい。 SS25mg/L(環境基準値)超過日数は現在と比べて年間 1~3 日増加する程度である。
水温の上昇 (図 4-14 ～図 4-16)	<ul style="list-style-type: none"> 表層水温の年平均値で 11.0$^{\circ}\text{C}$(現在)から 14.9$^{\circ}\text{C}$(RCP8.5C3)で最大 3.9$^{\circ}\text{C}$の上昇となる。 放流水温は年平均値で 11.1$^{\circ}\text{C}$(現在)から 14.8$^{\circ}\text{C}$(RCP8.5C3)で最大 3.7$^{\circ}\text{C}$の上昇となる。 温水放流の年間平均日数は、現在気候でも 127 日(現在)と多いが、気候変動に伴い更に最大 17 日(将来 RCP8.5C3)増加する。 温水放流温度¹⁾では現在気候と比較すると特に 8 月が顕著に上昇しており、最大で 3$^{\circ}\text{C}$程度の上昇幅となる。
まとめ (気候変動により影響を受ける水質変化現象)	<p>≪水質の変化が大きいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> 流入水温及び貯水池内水温及び放流水温が上昇する。これらに伴い、下流への温水放流が増加する。 <p>≪水質の変化が小さいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> 藻類増殖は増殖期間が早期化・長期化するものの顕著に助長はされない。

1)温水放流時における放流水温と流入水温の差

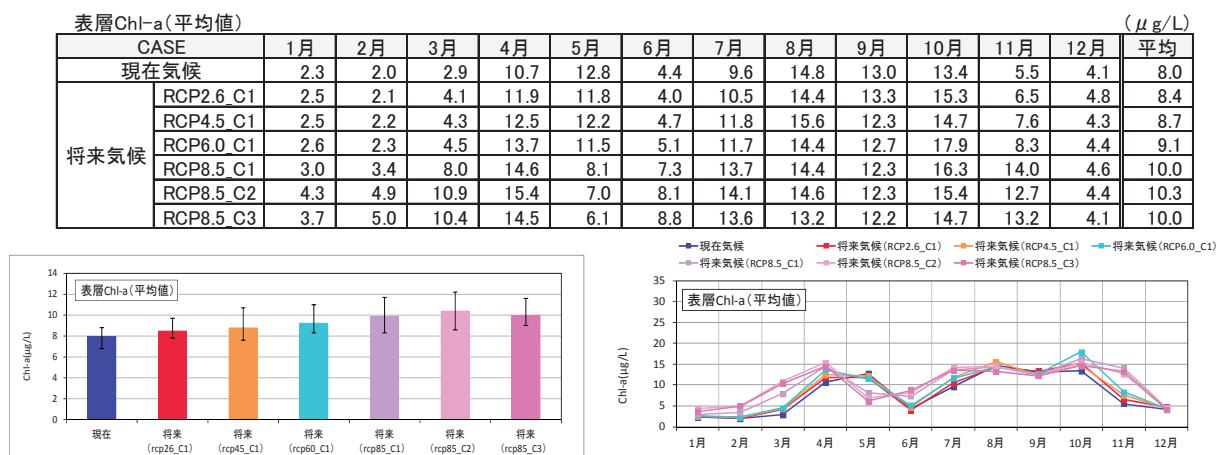


図 4-10 ケース毎の表層 Chl-a (左下: 年平均値、右下: 月平均値)

表層CHL-a25 $\mu\text{g/L}$ 超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.1
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.6	0.0	3.0
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	3.7	0.2	0.0	4.7
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.5	0.0	6.8
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.0	0.0	4.1
	RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.5	0.0	4.0

●現在気候 ●将来気候(RCP2.6_C1) ●将来気候(RCP4.5_C1) ●将来気候(RCP6.0_C1)
●将来気候(RCP8.5_C1) ●将来気候(RCP8.5_C2) ●将来気候(RCP8.5_C3)

※Chl-a25 $\mu\text{g/L}$: OECD 富栄養化限界

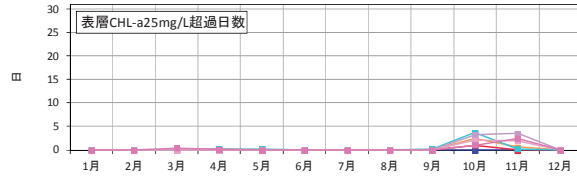


図 4-11 ケース毎の表層 Chl-a が 25 $\mu\text{g/L}$ を超過する日数

底層DO 2.0mg/L低下日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
	RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2

●現在気候 ●将来気候(RCP2.6_C1) ●将来気候(RCP4.5_C1) ●将来気候(RCP6.0_C1)
●将来気候(RCP8.5_C1) ●将来気候(RCP8.5_C2) ●将来気候(RCP8.5_C3)

※DO2mg/L : 溶出の起きやすい DO レベル

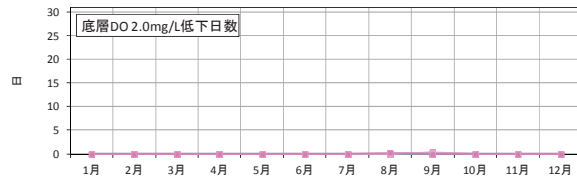


図 4-12 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

表層SS(平均値)

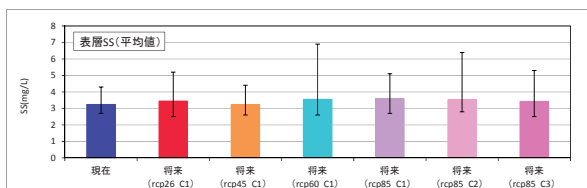
(mg/L)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	2.5	3.0	3.3	3.4	2.9	2.7	2.9	4.6	4.6	3.5	2.7	2.3	3.2
将来気候	RCP2.6 C1	2.4	2.7	3.2	3.4	3.0	2.6	3.3	4.4	5.5	3.6	3.4	3.1
	RCP4.5 C1	2.6	2.9	3.7	3.2	2.6	2.4	2.7	3.2	5.2	4.3	3.2	2.4
	RCP6.0 C1	2.4	3.0	3.6	3.3	2.8	3.7	3.4	3.9	7.6	3.6	3.0	2.4
	RCP8.5 C1	2.7	3.1	3.5	3.6	2.8	2.7	2.7	3.9	7.5	3.7	4.0	2.9
	RCP8.5 C2	2.7	3.2	3.9	3.4	2.9	3.0	3.0	3.6	7.0	3.9	3.0	2.5
	RCP8.5 C3	2.5	3.0	3.2	3.1	3.2	3.2	3.9	4.9	4.8	3.7	2.8	2.5

放流SS25mg/L超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.9	0.0	0.0	1.8
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	0.0	1.1
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.6	0.2	0.4	1.2	0.3	0.0	3.0
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	1.8	0.0	0.6	3.0
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.7
	RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	1.0	0.4	0.0	0.0	2.2



●現在気候 ●将来気候(RCP2.6_C1) ●将来気候(RCP4.5_C1) ●将来気候(RCP6.0_C1)
●将来気候(RCP8.5_C1) ●将来気候(RCP8.5_C2) ●将来気候(RCP8.5_C3)

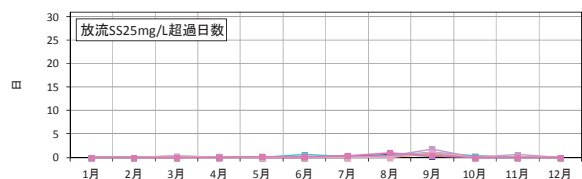


図 4-13 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

表層水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	0.5	0.7	3.3	8.3	13.0	17.0	20.5	22.5	19.2	14.8	9.5	3.1	11.0	
将来気候	RCP2.6 C1	0.7	1.4	4.4	8.7	13.6	17.5	20.9	23.1	20.3	15.7	10.5	4.2	11.8
	RCP4.5 C1	1.0	1.4	4.7	9.1	14.1	18.1	21.7	24.4	21.2	16.6	11.2	4.5	12.3
	RCP6.0 C1	1.2	2.1	4.7	9.1	14.4	18.5	21.8	24.0	20.7	16.6	11.1	5.3	12.5
	RCP8.5 C1	2.4	3.2	6.3	10.5	16.0	20.0	23.6	26.3	22.8	18.5	13.1	6.6	14.1
	RCP8.5 C2	4.3	4.1	6.9	11.2	16.7	20.2	23.6	26.8	23.1	18.9	13.6	8.0	14.8
RCP8.5 C3	4.1	4.4	6.9	11.4	16.8	20.6	24.1	26.7	23.6	19.0	13.5	7.7	14.9	

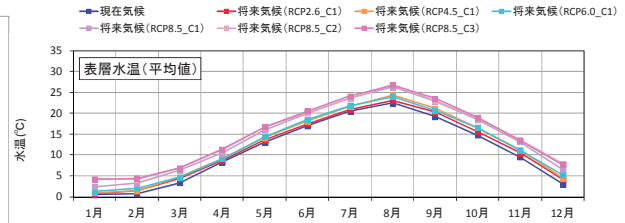
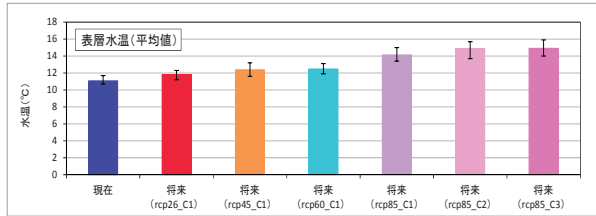


図 4-14 ケース毎の表層水温

放流水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	1.2	1.6	3.7	8.0	12.7	16.7	20.2	22.4	19.1	14.8	9.5	3.4	11.1	
将来気候	RCP2.6 C1	1.4	2.2	4.6	8.5	13.1	17.0	20.3	22.8	20.3	15.7	10.5	4.4	11.7
	RCP4.5 C1	1.6	2.2	4.9	8.8	13.7	17.8	21.1	24.2	21.2	16.6	11.2	4.6	12.3
	RCP6.0 C1	1.9	2.7	4.9	8.8	13.9	18.0	21.2	23.7	20.7	16.6	11.1	5.3	12.4
	RCP8.5 C1	2.9	3.6	6.2	10.3	15.7	19.6	23.0	26.0	22.7	18.5	13.1	6.6	14.0
	RCP8.5 C2	4.5	4.3	6.9	11.1	16.3	19.8	23.0	26.5	23.1	18.8	13.6	8.0	14.7
RCP8.5 C3	4.3	4.6	6.9	11.2	16.5	20.1	23.5	26.3	23.5	19.0	13.5	7.7	14.8	

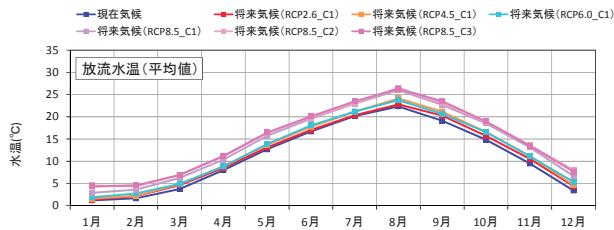


図 4-15 ケース毎の放流水温

温水放流日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	15.5	25.9	28.5	24.4	25.6	6.6	0.0	127.0	
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	14.5	24.7	28.6	27.6	27.0	5.5	0.2	129.1
	RCP4.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	14.7	25.1	29.7	27.9	26.6	10.0	0.2	134.9
	RCP6.0_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	13.8	23.2	29.2	27.2	29.2	9.9	0.0	135.9
	RCP8.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	16.2	25.4	28.5	26.7	25.6	14.9	0.4	142.0
	RCP8.5_C2	0.0	0.0	0.2	0.6	5.0	11.9	23.5	30.6	27.0	30.1	11.0	0.9	140.8
RCP8.5_C3	0.1	0.0	0.0	0.1	6.8	13.9	24.8	28.2	27.3	30.7	11.6	0.2	143.7	

温水放流温度(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.3	2.4	1.8	1.3	0.5	0.0	1.6	
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.2	2.2	2.1	1.5	0.4	0.0	1.6
	RCP4.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.3	2.7	2.1	1.6	0.5	0.1	1.7
	RCP6.0_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	1.4	2.5	2.4	1.4	0.6	0.0	1.8
	RCP8.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.7	2.9	2.6	1.3	0.6	0.2	1.9
	RCP8.5_C2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	1.3	3.3	2.5	1.9	0.6	0.1	2.1
RCP8.5_C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.4	2.9	2.5	2.1	0.8	0.0	2.0	

※温水放流が発生した日みの平均値

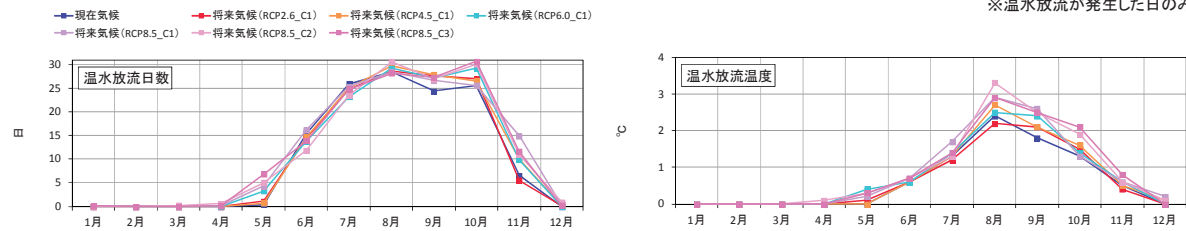


図 4-16 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)

(2) 耶馬溪ダム

1) 気象条件、流況の変化

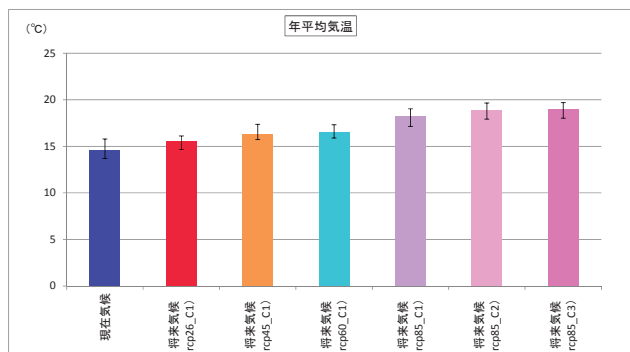
耶馬溪ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

表 4-7 気候変動による気象条件、流況の変化

	項目	変化の概要
気象条件	気温 (図 4-17)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比較して放射強制力の強い将来気候 RCP8.5 の 3 ケース (C1,C2,C3)の気温上昇幅が大きく、特に RCP8.5_C3 では年平均で 4.3℃ の気温上昇が確認される。 ▶ 月別では概ね年間一律で気温上昇が確認される。
	降水量 (図 4-18)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射強制力が大きい RCP8.5_C2,C3 で年間降水量がやや多い傾向がみられる。 ▶ 月別では、夏季のケース毎のバラつきが大きく、7月~8月は現在気候よりも将来気候の降水量が少ない傾向が見られる。
流況	ダム流入量 (図 4-19)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比較すると、気温上昇に伴う蒸発散量の増加の影響はあるものの、ケース毎には概ね降水量の大小との関係性が見られ、RCP8.5_C2, RCP8.5_C3 ではダム地点年総流入量の平均値がやや大きい。 ▶ 月別で見ると、現在気候と同様に6月の梅雨期に最も降水量が多くなるパターンに変化はない。

単位: (°C)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	14.6	15.5	16.3	16.4	18.1	18.8	18.9
最大値	15.8	16.1	17.4	17.3	19.0	19.7	19.7
最小値	13.7	14.7	15.7	15.9	17.1	17.9	18.0



単位: (°C)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	3.9	4.7	5.7	5.8	7.2	8.8	8.3
2月	4.7	5.9	6.0	6.4	7.9	9.1	9.3
3月	7.9	8.8	9.7	9.4	11.5	11.8	12.1
4月	13.2	13.8	14.8	14.6	16.1	16.7	17.0
5月	17.8	18.7	19.4	19.6	21.1	21.7	21.7
6月	21.5	22.6	23.2	23.7	25.2	25.3	25.7
7月	25.5	26.6	27.2	27.4	29.3	29.2	29.7
8月	25.9	26.9	27.6	27.8	29.7	29.9	30.2
9月	22.1	23.1	24.1	24.1	26.1	26.5	27.1
10月	16.0	16.9	17.6	17.6	19.9	20.5	20.6
11月	10.7	11.8	12.6	13.0	14.8	15.2	15.0
12月	5.8	6.6	7.4	7.9	8.8	10.7	10.1
年平均	14.6	15.5	16.3	16.4	18.1	18.8	18.9

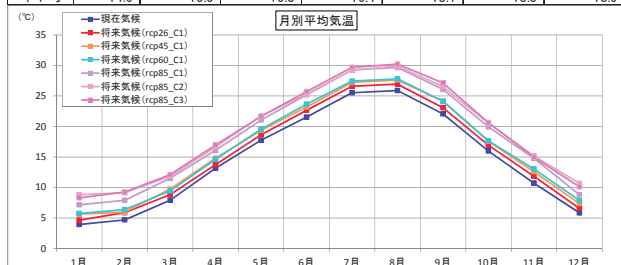
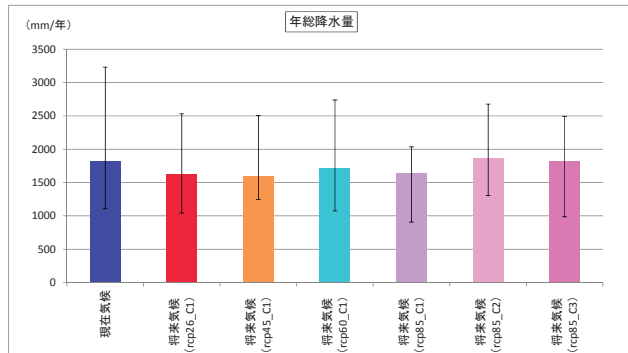


図 4-17 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

単位: (mm/年)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	1,822	1,634	1,598	1,713	1,645	1,869	1,818
最大値	3,231	2,531	2,504	2,738	2,035	2,677	2,494
最小値	1,105	1,041	1,247	1,075	908	1,304	987



単位: (mm/月)

	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	68	71	72	72	75	81	92
2月	79	68	68	72	63	84	67
3月	142	138	155	143	122	162	140
4月	133	107	154	133	132	134	138
5月	199	184	169	192	229	227	210
6月	353	300	238	262	239	356	275
7月	287	218	238	265	220	245	252
8月	171	136	137	151	125	149	159
9月	196	165	181	216	258	206	262
10月	83	93	58	75	70	72	115
11月	66	92	86	79	64	99	65
12月	45	60	43	52	49	54	43
年合計	1,822	1,634	1,598	1,713	1,645	1,869	1,818

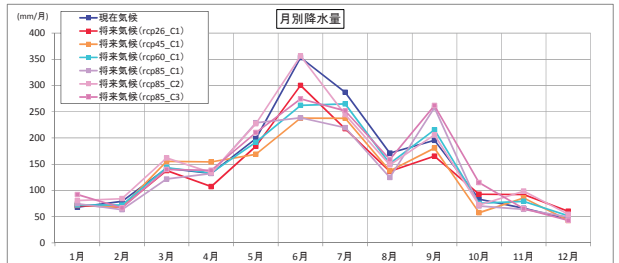
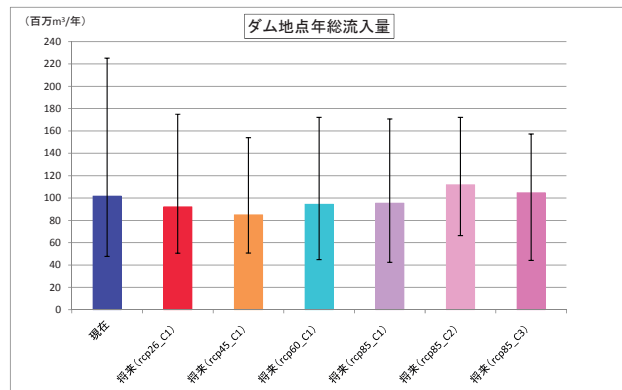


図 4-18 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: 百万m³/年

	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
平均	101.7	92.1	84.9	94.5	95.5	111.9	104.7
最大値	225.3	175.1	154.1	172.2	170.8	172.2	157.3
最小値	47.8	50.5	50.7	44.8	42.5	66.4	44.2



単位: m³/s

月	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
1	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.6	1.9
2	2.0	1.6	1.5	1.8	1.6	2.0	1.6
3	2.3	2.5	2.8	2.6	2.1	3.2	2.4
4	2.3	1.9	2.7	2.1	2.2	2.5	2.6
5	4.0	3.7	3.3	3.9	5.0	4.7	4.4
6	8.6	7.1	5.6	5.8	7.1	9.7	6.9
7	5.8	5.0	5.1	7.1	4.7	6.1	6.7
8	3.1	2.0	2.3	1.8	1.6	2.8	2.6
9	4.4	3.3	3.5	4.6	6.2	4.6	5.7
10	2.1	2.2	1.2	1.8	1.8	1.4	2.8
11	1.6	2.5	2.0	1.8	1.4	2.4	1.3
12	1.1	1.7	1.1	1.3	1.2	1.5	1.0

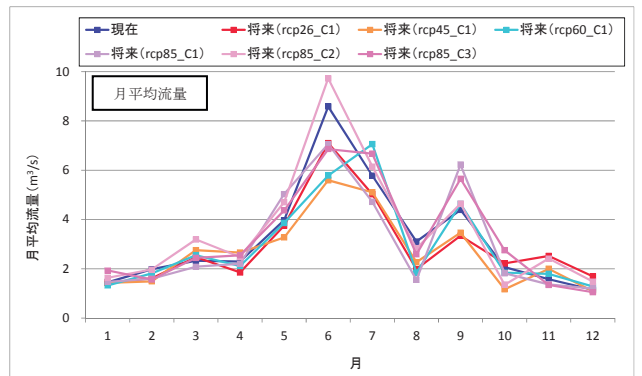


図 4-19 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

2) 水質の変化

耶馬溪ダムにおける水質の変化について以下に示す。

耶馬溪ダムでは気候変動により、藻類増殖時期の早期化、底層での貧酸素化の助長、温水放流および冷水放流の増加といった水質の変化が確認される。

表 4-8 気候変動による水質の変化

水質変化現象	変化の概要
藻類増殖 (図 4-20 ～図 4-21)	<ul style="list-style-type: none"> 表層 Chl-a の年平均値 12.5$\mu\text{g/L}$(現在)が将来気候 (RCP2.6C1 以外の 5 ケース) で 0.2～1.4$\mu\text{g/L}$ 低下する。 現在気候と比較すると、水温上昇に伴い藻類増殖時期が 1 か月程度早期化する傾向が見られる。
底層水質悪化 (図 4-22)	<ul style="list-style-type: none"> 底層 DO が 2mg/L (溶出が生じやすくなる DO レベル) 未満となる年間日数が、19 日 (現在) と 69 日 (RCP8.5C2) で最大 50 日増加する。
濁度の上昇 (図 4-23)	<ul style="list-style-type: none"> 現在気候、将来気候とも、年平均表層 SS 濃度は 2.0mg/L 前後と小さく、SS25mg/L (環境基準値) の超過も見られない。
水温の上昇 (図 4-24 ～図 4-27)	<ul style="list-style-type: none"> 表層水温の年平均値で、18.2$^{\circ}\text{C}$ (現在)、21.8$^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.6$^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 放流水温は年平均値で 17.2$^{\circ}\text{C}$ (現在) から 20.3$^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.1$^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 温水放流の年間平均日数は、48 日 (現在)、61 日 (将来 RCP8.5C3) で最大 13 日増加する。 冷水放流の年間平均日数は、8 日 (現在)、29 日 (将来 RCP8.5C3) で最大 21 日増加する。
まとめ (気候変動により影響を受ける水質変化現象)	<p>≪水質の変化が大きいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> 底層での貧酸素化が助長される。 流入水温及び貯水池内水温及び放流水温が上昇する。これらに伴い、下流への温水放流が増加する。 気候変動により上昇した流入水温に比べて、現在、選択取水設備の運用ルール※)で設定している放流目標水温が低くなるため冷水放流が増加する。 <p>≪水質の変化が小さいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> 藻類増殖は増殖期間が早期化・長期化するものの顕著に助長はされない。

※)放流目標水温に従って取水深を決定する運用

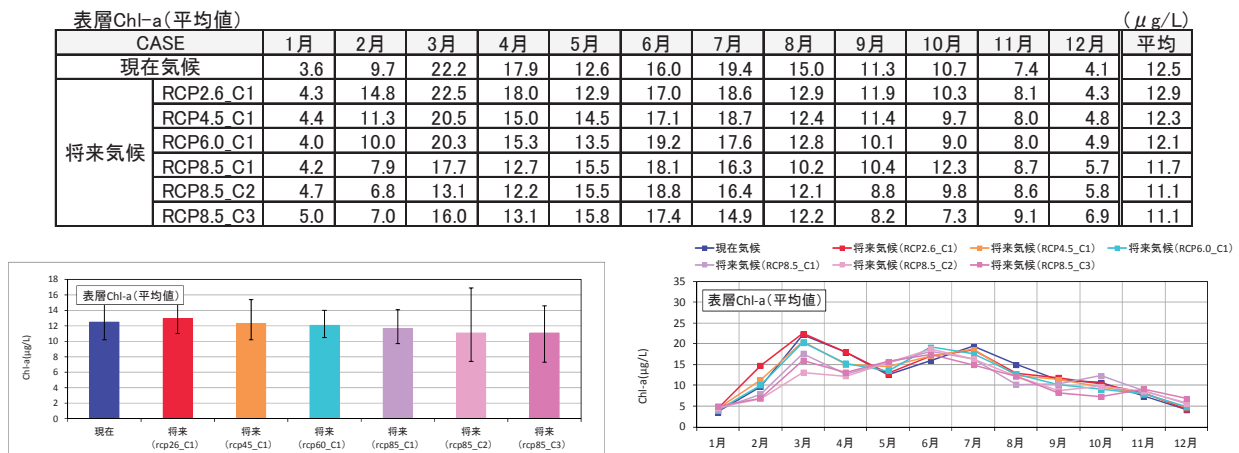


図 4-20 ケース毎の表層 Chl-a (左下 : 年平均値、右下 : 月平均値)

表層CHL-a25 μ g/L超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	0.0	1.0	11.0	4.5	1.9	5.4	8.5	3.1	1.1	0.5	0.0	0.0	37.0	
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	5.7	11.1	2.6	2.6	6.4	7.3	1.1	1.6	0.8	0.1	0.0	39.5
	RCP4.5 C1	0.2	2.8	8.6	1.3	2.8	6.0	7.4	1.3	1.8	1.5	0.4	0.0	34.1
	RCP6.0 C1	0.3	1.8	8.0	0.8	3.1	8.5	7.2	0.5	0.8	0.1	0.0	0.0	31.1
	RCP8.5 C1	0.0	1.3	3.2	0.0	4.7	6.9	4.7	0.9	2.0	2.0	0.0	0.0	25.8
	RCP8.5 C2	0.8	1.2	3.0	0.5	4.9	8.0	4.1	2.0	0.8	2.0	0.2	0.0	27.5
RCP8.5 C3	0.7	0.3	2.3	0.2	3.8	6.3	3.4	2.9	0.5	0.1	0.3	0.0	21.0	

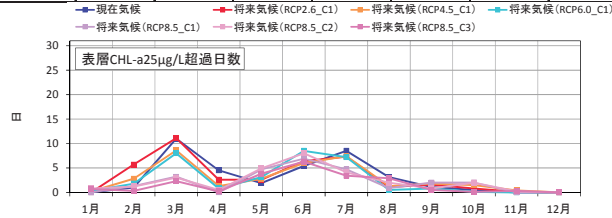


図 4-21 ケース毎の表層 Chl-a が 25 μ g/L を超過する日数

底層DO 2.0mg/L低下日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.4	9.3	3.9	0.0	0.5	18.9	
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	6.0	11.2	6.0	0.1	0.3	24.0
	RCP4.5 C1	0.8	0.0	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	3.7	9.8	9.3	0.1	0.0	25.0
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0	0.8	5.5	14.3	9.1	0.1	0.0	31.0
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	0.4	4.6	0.6	0.0	0.5	8.3	17.3	14.9	1.2	0.0	47.9
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.9	8.5	1.0	0.2	3.5	19.3	21.6	13.4	0.7	0.0	69.1
RCP8.5 C3	0.0	0.0	1.2	10.0	1.4	0.0	2.5	16.9	20.5	6.6	0.0	0.2	59.3	

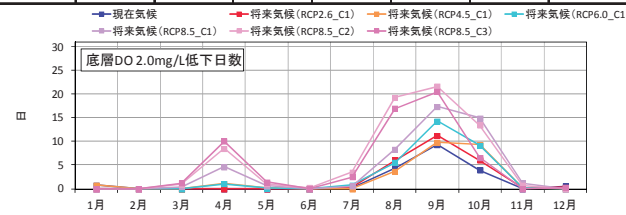


図 4-22 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

表層SS(平均値)

(mg/L)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	1.3	1.3	1.3	1.1	1.6	2.8	2.3	1.7	2.6	2.6	2.2	1.6	1.9	
将来気候	RCP2.6 C1	1.8	1.4	1.2	1.1	1.7	2.5	2.4	1.4	2.1	2.7	2.6	2.2	1.9
	RCP4.5 C1	1.5	1.2	1.2	1.3	1.5	2.2	2.2	1.8	2.6	2.7	2.1	1.8	1.9
	RCP6.0 C1	1.3	1.2	1.2	1.3	1.7	2.3	2.9	1.6	2.5	2.9	2.2	1.6	1.9
	RCP8.5 C1	1.4	1.4	1.3	1.1	2.1	2.3	2.2	1.4	2.9	2.6	2.2	1.7	1.9
	RCP8.5 C2	1.8	1.5	1.7	1.3	2.0	3.4	2.8	2.1	2.6	2.7	2.6	2.4	2.2
RCP8.5 C3	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7	2.4	3.0	1.8	2.8	3.7	2.8	2.0	2.2	

放流SS25mg/L超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

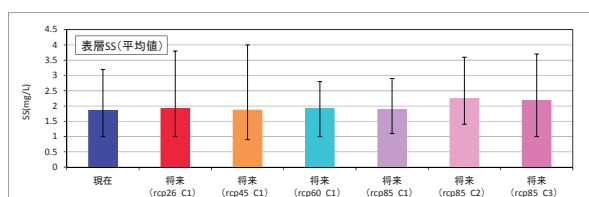


図 4-23 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

表層水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	9.6	8.7	10.5	15.2	19.8	23.2	26.8	27.9	25.0	21.2	17.0	12.9	18.2	
将来気候	RCP2.6 C1	10.1	9.5	11.4	15.8	20.7	24.2	27.8	28.8	26.0	22.0	17.7	13.4	19.0
	RCP4.5 C1	10.8	9.8	11.9	16.5	21.2	24.7	28.3	29.4	26.9	22.8	18.6	14.0	19.6
	RCP6.0 C1	11.1	10.2	11.9	16.5	21.3	25.1	28.4	29.4	26.8	22.8	18.8	14.7	19.8
	RCP8.5 C1	11.7	11.1	13.4	17.6	22.5	26.5	30.1	31.4	28.0	24.4	20.2	15.6	21.1
	RCP8.5 C2	13.0	12.3	14.1	18.2	23.0	26.4	29.9	31.4	28.8	25.0	20.5	16.1	21.6
RCP8.5 C3	12.9	12.2	14.2	18.5	23.1	26.9	30.2	31.6	28.9	24.8	20.7	16.4	21.8	

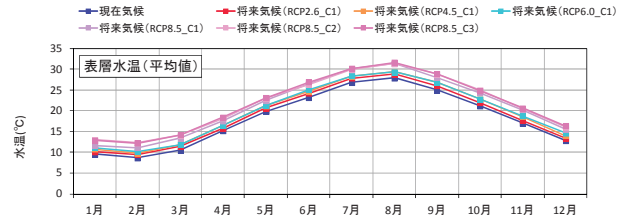
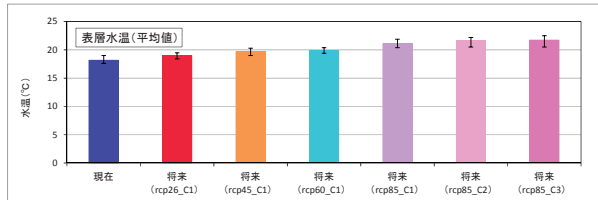


図 4-24 ケース毎の表層水温

放流水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	9.4	8.1	10.2	14.7	18.0	21.2	24.0	26.0	24.3	20.9	16.9	12.9	17.2	
将来気候	RCP2.6 C1	10.0	8.7	11.1	15.3	18.2	21.7	24.8	26.8	25.1	21.8	17.7	13.4	17.9
	RCP4.5 C1	10.7	9.3	11.6	16.0	18.3	21.9	25.2	27.4	25.9	22.7	18.6	14.0	18.5
	RCP6.0 C1	11.0	9.6	11.7	16.0	18.5	22.1	25.3	27.7	26.1	22.7	18.8	14.7	18.7
	RCP8.5 C1	11.6	10.3	13.0	17.0	18.6	22.7	26.7	29.2	27.2	24.1	20.1	15.6	19.7
	RCP8.5 C2	12.8	11.5	13.8	17.7	18.7	23.4	26.9	29.2	28.0	24.8	20.4	16.1	20.3
RCP8.5 C3	12.7	11.4	13.8	18.0	18.8	23.4	26.9	29.4	28.1	24.6	20.7	16.4	20.3	

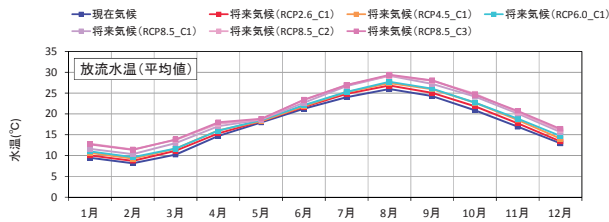


図 4-25 ケース毎の放流水温

温水放流日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	8.1	13.6	13.1	9.7	3.0	48.2
将来気候	RCP2.6 C1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	9.6	12.9	14.0	10.4	6.0	54.1
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	9.7	10.7	17.3	13.0	3.2	54.2
	RCP6.0 C1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	9.6	11.0	20.4	10.7	3.3	55.9
	RCP8.5 C1	1.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	6.0	12.0	12.4	9.4	10.0	51.5
	RCP8.5 C2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.9	11.4	15.0	18.0	11.6	61.1
RCP8.5 C3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	7.6	10.8	20.1	8.6	7.0	54.7

温水放流温度(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	1.0	0.6	0.3	0.8
将来気候	RCP2.6 C1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	1.2	0.6	0.7	0.9
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	1.0	1.1	0.6	1.0	1.0
	RCP6.0 C1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.3	0.6	0.8	1.0
	RCP8.5 C1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	1.1	0.8	1.2	1.1
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	1.1	1.2	0.8	1.1
	RCP8.5 C3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	1.2	0.9	0.9	0.9

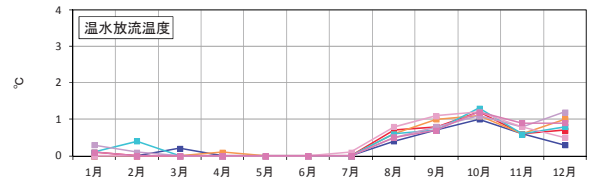
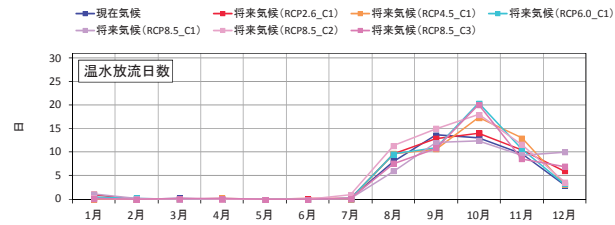


図 4-26 ケース毎の温水放流日数 (左) と温水放流時の超過水温 (右)

冷水放流日数(平均値) (日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.9	3.8	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	7.6
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	1.9	5.4	1.3	0.2	0.0	0.0	10.1
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	4.2	3.4	0.6	0.0	0.0	0.0	10.8
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.8	4.0	0.9	0.0	0.0	0.0	11.7
	RCP8.5 C1	0.0	0.2	0.0	0.1	10.0	9.6	6.3	1.9	0.0	0.0	0.0	28.2
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	4.0	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	24.2
RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	7.0	5.8	1.1	0.2	0.0	0.0	28.6	

冷水放流温度(平均値) (°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.1	0.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.4
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	1.5	0.8	0.3	0.3	0.0	0.0	1.7
	RCP4.5 C1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.5	1.5	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	1.8
	RCP6.0 C1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	1.1	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	1.7
	RCP8.5 C1	0.0	0.8	0.0	0.0	1.2	1.1	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	1.2
	RCP8.5 C2	0.0	0.4	0.0	0.0	1.2	0.8	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1
RCP8.5 C3	0.0	0.4	0.0	0.1	1.0	1.3	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1

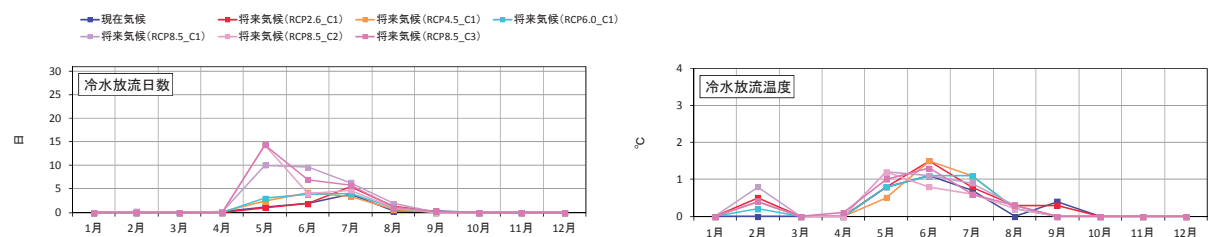


図 4-27 ケース毎の冷水放流日数 (左) と冷水放流時の超過水温 (右)

(3) 寒河江ダム

1) 気象条件、流況の変化

寒河江ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

表 4-9 気候変動による気象条件、流況の変化

項目	項目	変化の概要
気象条件	気温 (図 4-28)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比較して放射強制力の強い将来気候 RCP8.5 の 3 ケース (C1,C2,C3)の気温上昇幅が大きく、特に RCP8.5_C3 では年平均で 5.0℃ の気温上昇が確認される。 ▶ 月別では、概ね年間一律で気温上昇が確認される。
	降水量 (図 4-29)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 年間降水量の変化傾向は、放射強制力の大小と明瞭な関係が見出せない。 ▶ 月別では、夏季(6月~9月)のケース毎のバラつきが大きく、特徴的な傾向としては、現在気候と比較して将来気候の7月降水量が多く、8月降水量が少ない傾向を示す。
流況	ダム流入量 (図 4-30)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 放射強制力の強いケースほど気温上昇に伴う蒸発量の増加により、ダム地点年総流入量の平均値がやや減少する傾向がある。(ただし、RCP6.0_C1は降水量が多いため流入水量も現在気候より大きくなる。) ▶ 月別では現在気候と比較して将来気候では気温上昇の影響で4~6月の融雪出水が減少するとともに、融雪期の早期化が確認される。

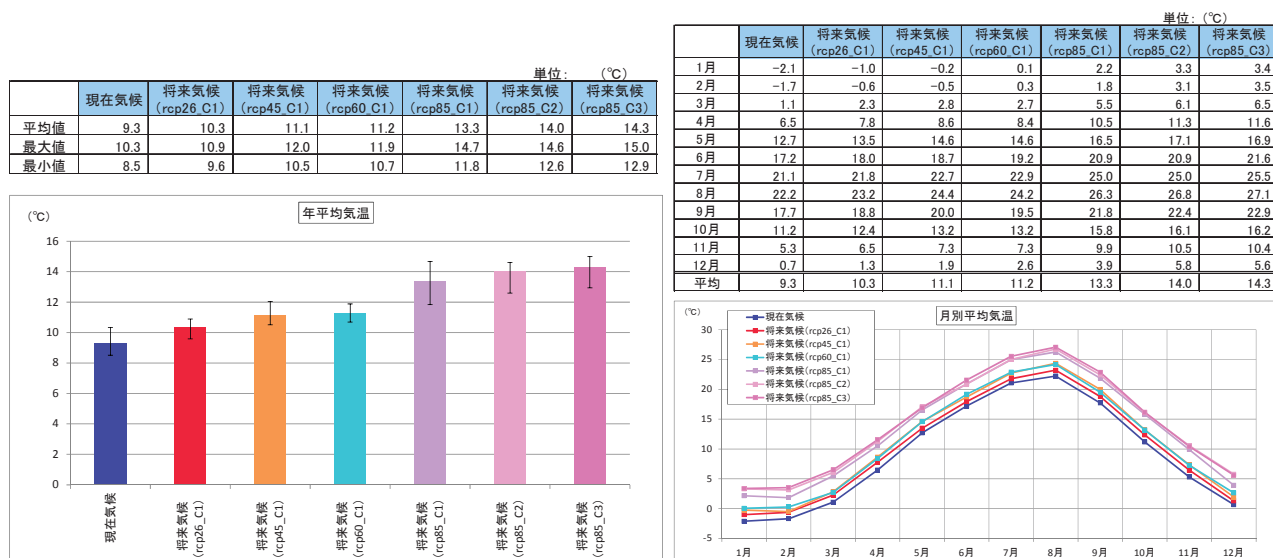
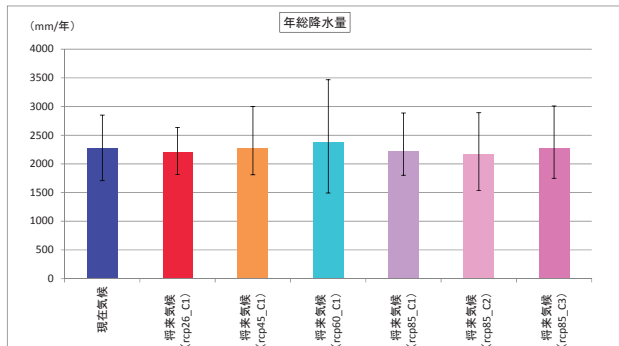


図 4-28 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

単位: (mm/年)							
	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	2,271	2,211	2,275	2,382	2,222	2,171	2,277
最大値	2,851	2,633	3,001	3,468	2,887	2,893	3,010
最小値	1,709	1,815	1,810	1,494	1,802	1,535	1,751



単位: (mm/月)							
	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	286	279	283	270	270	258	289
2月	200	193	220	205	194	208	190
3月	149	167	176	165	176	161	170
4月	113	120	117	118	112	105	114
5月	121	114	117	106	118	127	118
6月	150	116	114	207	153	159	153
7月	233	257	293	320	256	249	316
8月	182	159	141	154	141	149	155
9月	174	161	174	202	187	154	183
10月	158	157	166	162	140	159	145
11月	237	229	216	212	203	194	196
12月	268	261	258	260	270	249	248
合計	2,271	2,211	2,275	2,382	2,222	2,171	2,277

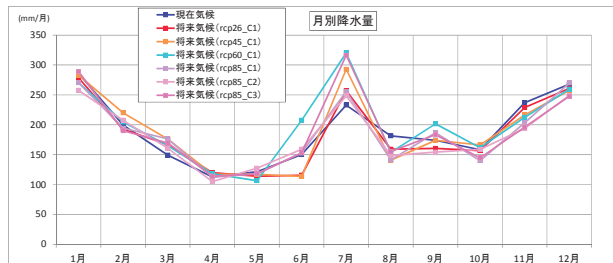
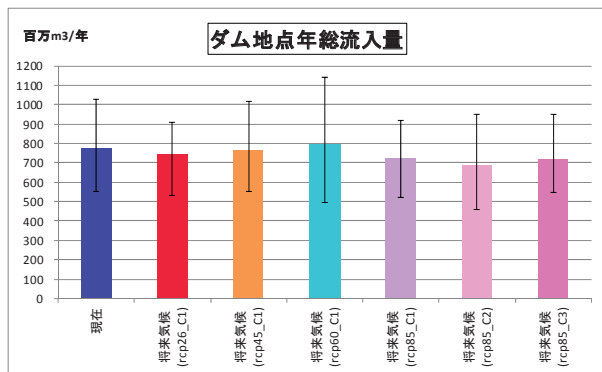


図 4-29 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: 百万m ³ /年							
	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
平均	775.4	747.1	765.6	796.3	722.9	688.2	718.6
最大値	1026.3	908.4	1016.7	1142.1	920.6	952.0	947.4
最小値	551.5	531.4	553.4	496.8	522.9	460.9	548.0



単位: m ³ /s							
	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
1月	9.5	11.0	10.8	12.3	16.9	19.0	22.8
2月	9.5	11.3	11.2	13.0	16.8	22.6	24.3
3月	14.9	18.1	21.2	19.9	33.4	34.6	36.4
4月	39.9	45.3	54.4	51.3	50.4	39.7	40.4
5月	74.8	66.5	66.2	60.1	42.3	28.9	26.4
6月	45.0	32.5	26.9	32.7	17.8	16.7	15.7
7月	25.6	24.4	27.1	30.2	21.7	20.3	25.1
8月	13.9	12.5	11.5	14.3	12.0	12.7	14.4
9月	14.9	13.3	14.2	16.0	15.2	11.7	13.8
10月	14.0	14.6	14.1	15.6	11.2	13.6	12.8
11月	17.6	20.4	18.8	19.7	18.6	18.2	18.1
12月	14.5	14.0	14.4	17.8	19.1	24.8	24.2

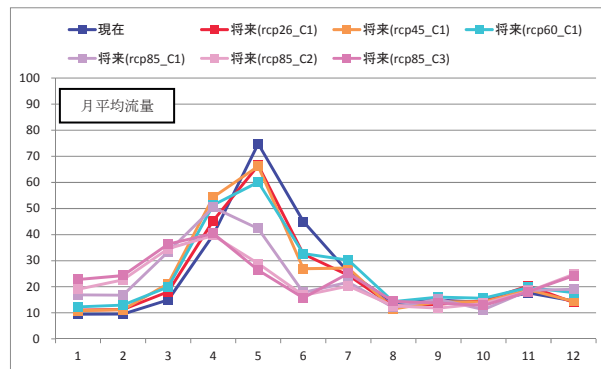


図 4-30 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

2) 水質の変化

寒河江ダムにおける水質の変化について以下に示す。

寒河江ダムでは気候変動により、底層での貧酸素化の助長、濁度の上昇、温水放流の増加といった水質の変化が確認される。

表 4-10 気候変動による水質の変化

水質変化現象	変化の概要
藻類増殖 (図 4-31)	▶ 水温上昇に伴い藻類増殖時期が1か月程度早期化する傾向が見られるが、現在気候、将来気候とも、年平均表層 Chl-a 濃度は 3.0 $\mu\text{g/L}$ 程度と小さく、気候変動に伴う変化は小さい。
底層水質悪化 (図 4-32)	▶ ダム水深が大きいダムであるため、現在でも底層 DO が 2mg/L (溶出が生じやすくなる DO レベル)未満となる年間日数が 55 日(現在)と多いが、将来気候では 86 日(RCP8.5C2)となり現在気候と比べて最大1ヶ月程度増加する。
濁度の上昇 (図 4-33)	▶ 放流 SS が 25mg/L(環境基準値)を超過する日数が、年間 6 日(現在)と 28 日(RCP8.5C3)で大幅に増加する。
水温の上昇 (図 4-34 ～図 4-37)	▶ 表層水温の年平均値で、9.1 $^{\circ}\text{C}$ (現在)、12.9 $^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.8 $^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 ▶ 放流水温は年平均値で 8.5 $^{\circ}\text{C}$ (現在) から 11.6 $^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.1 $^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 ▶ 温水放流の年間平均日数は、44 日 (現在)、49 日 (将来 RCP8.5C3) で最大 5 日増加する。 ▶ 冷水放流の年間平均日数は、21 日 (現在)、13 日 (将来 RCP8.5C3) で 8 日低減する。
まとめ (気候変動により影響を受ける水質変化現象)	<p>◀水質の変化が大きいと思われる現象▶</p> <ul style="list-style-type: none"> ○出水後の濁度が上昇する。 ○底層での貧酸素化が助長される。 <p>◀水質の変化が小さいと思われる現象▶</p> <ul style="list-style-type: none"> ○流入水温及び貯水池内水温及び放流水温が上昇するものの、下流への温水放流は顕著に増加しない。

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	1.0	0.9	1.1	1.6	2.0	2.7	3.5	5.2	6.1	4.8	2.9	1.7	2.8	
将来気候	RCP2.6 C1	1.0	0.8	1.0	1.8	2.2	2.9	3.2	5.3	5.7	4.8	3.0	1.7	2.8
	RCP4.5 C1	1.0	0.8	1.0	1.7	2.3	3.1	3.5	5.3	6.0	5.3	3.2	1.8	2.9
	RCP6.0 C1	1.0	0.7	1.0	1.7	2.3	3.1	3.5	5.4	6.4	5.1	3.3	1.8	2.9
	RCP8.5 C1	1.1	1.0	1.3	2.0	2.5	2.9	3.2	4.8	5.7	4.6	3.0	1.8	2.8
	RCP8.5 C2	1.2	0.9	1.3	2.1	2.4	2.4	3.0	4.7	5.6	4.8	3.3	1.9	2.8
RCP8.5 C3	1.2	1.0	1.3	2.2	2.5	2.5	2.7	5.4	5.8	4.7	3.1	1.9	2.9	

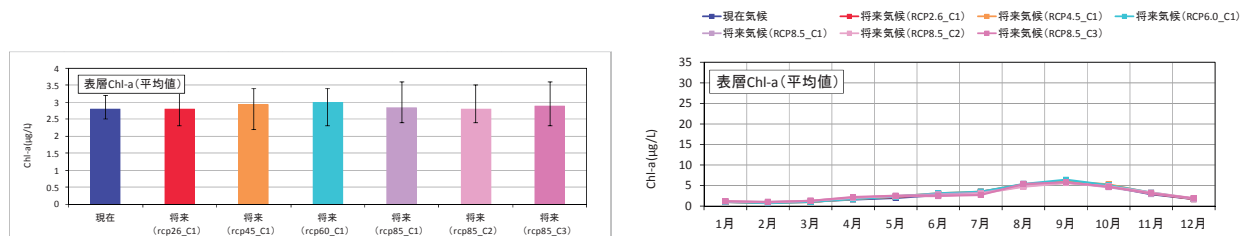


図 4-31 ケース毎の表層 Chl-a (左下 : 年平均値、右下 : 月平均値)

底層DO 2.0mg/L低下日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	14.6	20.3	16.5	0.5	55.2	
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	16.9	21.1	13.6	0.8	56.9	
	RCP4.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	17.0	21.7	15.4	2.2	59.5	
	RCP6.0_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	17.0	23.5	16.9	3.0	66.3	
	RCP8.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	15.3	26.3	26.7	13.8	1.6	85.2
	RCP8.5_C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	21.0	28.0	26.0	8.0	0.7	85.5
RCP8.5_C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	18.3	26.6	25.9	9.6	2.1	84.2	

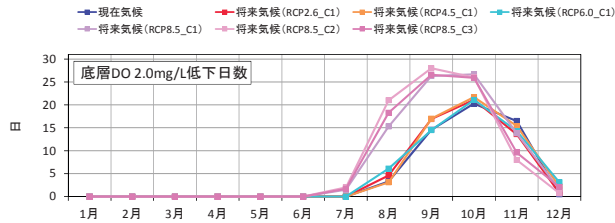


図 4-32 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

表層SS(平均値)

(mg/L)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	1.4	0.6	0.8	4.2	5.3	3.7	5.5	2.4	3.0	3.0	3.3	4.5	3.2
将来気候	RCP2.6_C1	1.0	0.7	0.9	5.2	4.3	1.9	6.3	2.3	2.5	3.7	4.2	3.2
	RCP4.5_C1	1.6	0.7	1.7	6.9	4.0	1.7	7.1	2.8	7.1	6.7	7.1	5.0
	RCP6.0_C1	1.8	0.9	2.6	5.9	4.0	2.6	8.9	3.3	4.9	4.6	6.7	5.0
	RCP8.5_C1	2.6	2.3	4.2	7.9	2.8	1.3	4.3	2.5	5.4	4.1	5.3	4.8
	RCP8.5_C2	4.3	3.7	7.4	6.2	2.0	1.3	7.3	3.4	2.8	6.1	5.6	5.0
RCP8.5_C3	5.1	3.6	6.8	7.8	1.9	1.2	9.5	5.5	3.8	6.0	4.6	5.6	

放流SS25mg/L超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
現在気候	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.3	0.8	0.5	0.0	0.0	2.3	6.3
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.6	0.8	0.3	0.0	0.0	2.6	0.7	0.0	0.1	0.3	0.1
	RCP4.5_C1	0.1	0.0	0.1	1.5	0.2	0.0	3.0	2.6	3.9	2.5	2.4	0.8
	RCP6.0_C1	1.5	0.1	1.7	0.8	0.2	0.9	5.7	2.3	1.8	1.2	3.1	2.0
	RCP8.5_C1	0.9	2.4	1.0	2.4	0.0	0.0	2.3	1.0	3.2	1.6	1.4	0.0
	RCP8.5_C2	0.9	1.0	5.6	1.5	0.0	0.3	5.2	1.2	1.1	2.3	2.0	0.1
RCP8.5_C3	1.5	3.0	3.3	4.2	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.3	1.2	

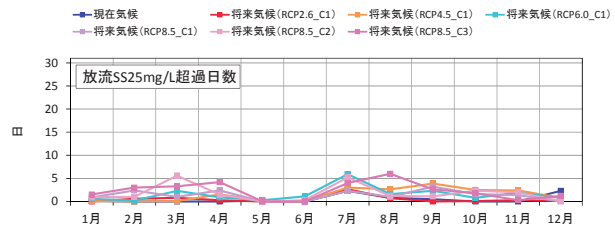
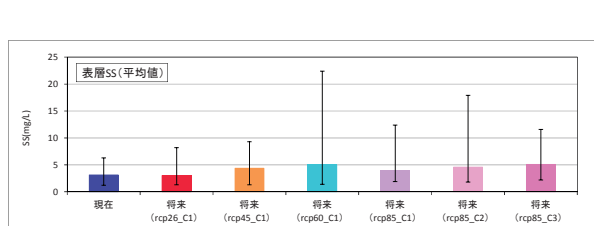


図 4-33 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

表層水温(平均値)

(°C)

CASE		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候		0.3	0.1	1.0	4.8	9.5	14.4	18.8	20.5	16.7	11.9	7.6	3.3	9.1
将来気候	RCP2.6 C1	0.3	0.2	1.3	5.6	10.6	15.6	19.3	21.2	17.5	12.6	8.4	3.8	9.7
	RCP4.5 C1	0.5	0.2	1.5	6.2	11.5	16.5	20.1	22.2	18.4	13.3	8.8	4.2	10.3
	RCP6.0 C1	0.6	0.3	1.5	6.1	11.7	16.7	20.0	22.2	17.9	13.4	8.9	5.2	10.4
	RCP8.5 C1	2.2	1.5	3.6	8.3	13.5	18.2	21.9	23.6	19.6	15.2	10.6	6.0	12.1
	RCP8.5 C2	3.7	2.3	4.6	9.3	14.0	17.8	21.6	24.0	20.3	15.5	10.9	6.9	12.6
RCP8.5 C3	3.8	2.3	4.8	9.4	14.1	18.4	22.1	24.2	20.8	15.8	11.0	7.0	12.9	

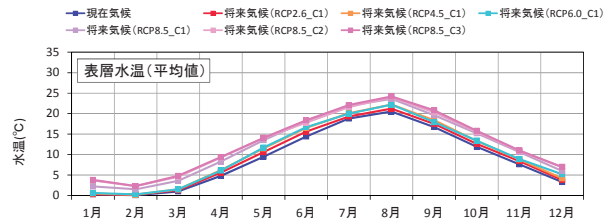
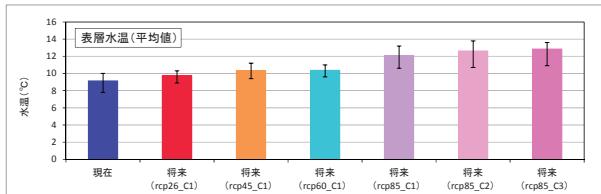


図 4-34 ケース毎の表層水温

放流水温(平均値)

(°C)

CASE		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候		2.2	1.5	2.1	4.8	8.1	11.6	15.9	16.8	15.3	11.7	7.6	4.3	8.5
将来気候	RCP2.6 C1	2.6	1.8	2.5	5.1	8.8	13.0	16.4	17.8	16.0	12.3	8.3	4.6	9.1
	RCP4.5 C1	3.0	2.1	2.6	5.2	9.4	13.5	16.9	18.0	16.7	12.9	8.7	4.9	9.5
	RCP6.0 C1	3.5	2.6	2.7	5.2	9.6	13.8	16.7	18.5	16.2	12.9	8.8	5.5	9.7
	RCP8.5 C1	3.6	3.1	3.8	6.2	11.2	15.6	19.2	20.2	17.7	14.8	10.4	6.1	11.0
	RCP8.5 C2	4.6	3.9	4.2	6.4	12.1	15.9	19.2	20.8	18.9	15.1	10.7	6.6	11.5
RCP8.5 C3	4.4	3.8	4.1	6.4	12.1	16.3	19.6	20.8	19.2	15.5	10.9	6.8	11.6	

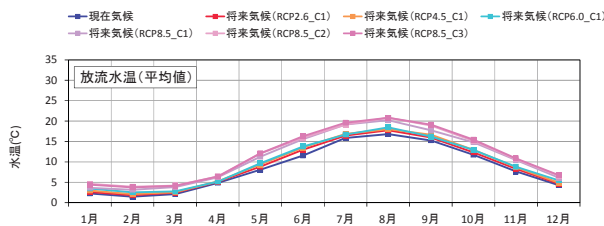


図 4-35 ケース毎の放流水温

温水放流日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	5.9	1.7	0.1	0.3	0.4	0.2	1.2	1.0	5.8	12.4	11.1	4.2	44.4	
将来気候	RCP2.6_C1	4.1	1.3	0.0	0.0	0.1	0.8	0.9	1.0	5.8	11.3	6.8	2.8	34.9
	RCP4.5_C1	2.0	0.5	0.0	0.2	0.3	0.2	1.0	0.9	7.0	12.2	3.4	4.9	32.6
	RCP6.0_C1	7.1	1.7	0.1	0.1	0.3	0.4	1.3	1.0	6.2	8.0	7.8	4.2	38.4
	RCP8.5_C1	1.0	0.7	0.1	0.0	0.1	1.4	3.5	4.6	6.7	8.6	7.1	2.9	36.7
	RCP8.5_C2	2.2	0.5	0.0	0.0	0.1	1.9	3.9	5.3	8.8	9.9	4.1	2.9	39.5
	RCP8.5_C3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.0	3.3	7.0	18.0	7.8	3.1	48.5

温水放流温度(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	
将来気候	RCP2.6_C1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.5	0.4	0.2	0.2
	RCP4.5_C1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.7	0.3	0.3	0.2
	RCP6.0_C1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.2
	RCP8.5_C1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2
	RCP8.5_C2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.7	0.5	0.2	0.3	0.2
	RCP8.5_C3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8	0.4	0.3	0.2

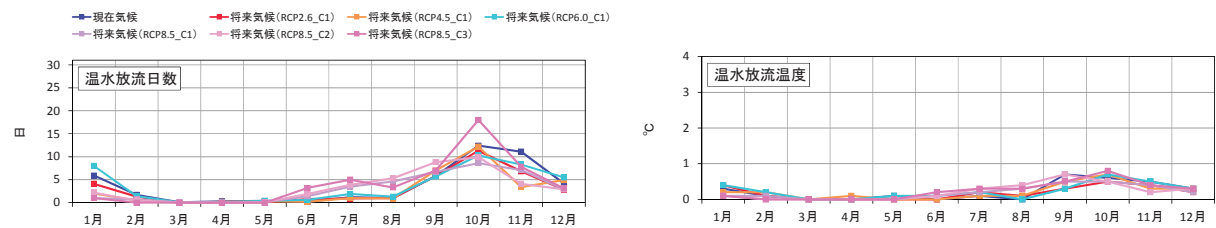


図 4-36 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)

冷水放流日数(平均値)														(日)
CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	4.8	9.5	1.3	0.7	0.5	0.6	0.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.9	0.6	1.0	0.7	0.9	2.2	0.2	0.0	0.0	6.4	
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.7	2.0	0.8	0.2	1.8	4.6	1.2	0.0	0.0	11.4	
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.3	1.6	0.8	0.4	2.0	1.9	1.3	0.0	0.0	8.2	
	RCP8.5 C1	0.0	0.0	2.3	1.6	1.0	0.0	0.2	2.7	1.1	0.1	0.0	9.1	
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	1.1	5.9	0.6	0.1	0.6	1.1	0.1	0.0	0.0	9.6	
RCP8.5 C3	0.2	0.1	2.7	7.1	0.4	0.1	0.6	0.9	0.4	0.0	0.0	12.5		

冷水放流温度(平均値)														(°C)
CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.4	0.5	0.3	0.0	0.0	0.1	
	RCP6.0 C1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	
	RCP8.5 C1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.5	0.4	0.0	0.0	0.1	
	RCP8.5 C2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	
	RCP8.5 C3	0.0	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	

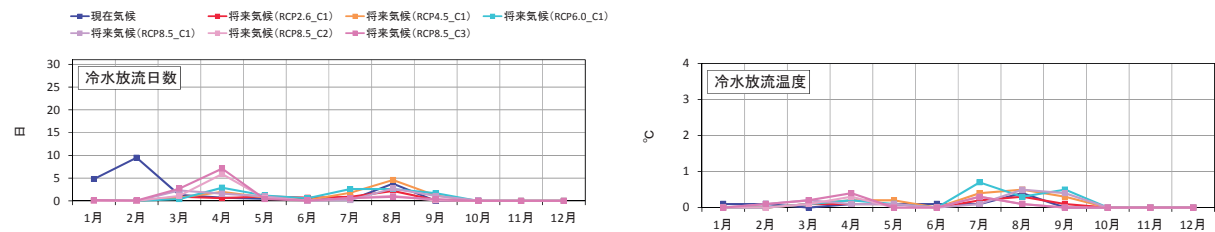


図 4-37 ケース毎の冷水放流日数（左）と冷水放流時の超過水温（右）

(4) 早明浦ダム

1) 気象条件、流況の変化

早明浦ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

表 4-11 気候変動による気象条件、流況の変化

項目	項目	変化の概要
気象条件	気温 (図 4-38)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比較して放射強制力の強い将来気候 RCP8.5 の 3 ケース (C1,C2,C3)の気温上昇幅が大きく、特に RCP8.5_C3 では年平均で 4.3℃ の気温上昇が確認される。 ▶ 月別では、概ね年間一律で気温上昇が確認される。
	降水量 (図 4-39)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比べて将来気候の RCP8.5_C3 の年間降水量が多く、20 カ年平均で、約 2350mm/年(現在)が約 2620mm/年(RCP8.5_C3)となっている。 ▶ 月別では、夏季(6月~9月)のケース毎のバラつきが大きく、特徴的な傾向としては、現在気候と比較して RCP8.5_C3 の夏季の降水量が多く、RCP8.5_C1 が少ない傾向が見られる。
流況	ダム流入量 (図 4-40)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現在気候と比べると気温上昇に伴う蒸発散量の増加の影響はあるものの、概ね降水量の大小との関係性が見られ、RCP8.5_C3 が最も多く、RCP8.5_C1 が最も少ない。 ▶ 月別についても同様であり、RCP8.5_C3 の夏季の流入量が多くなる点が特徴的である。

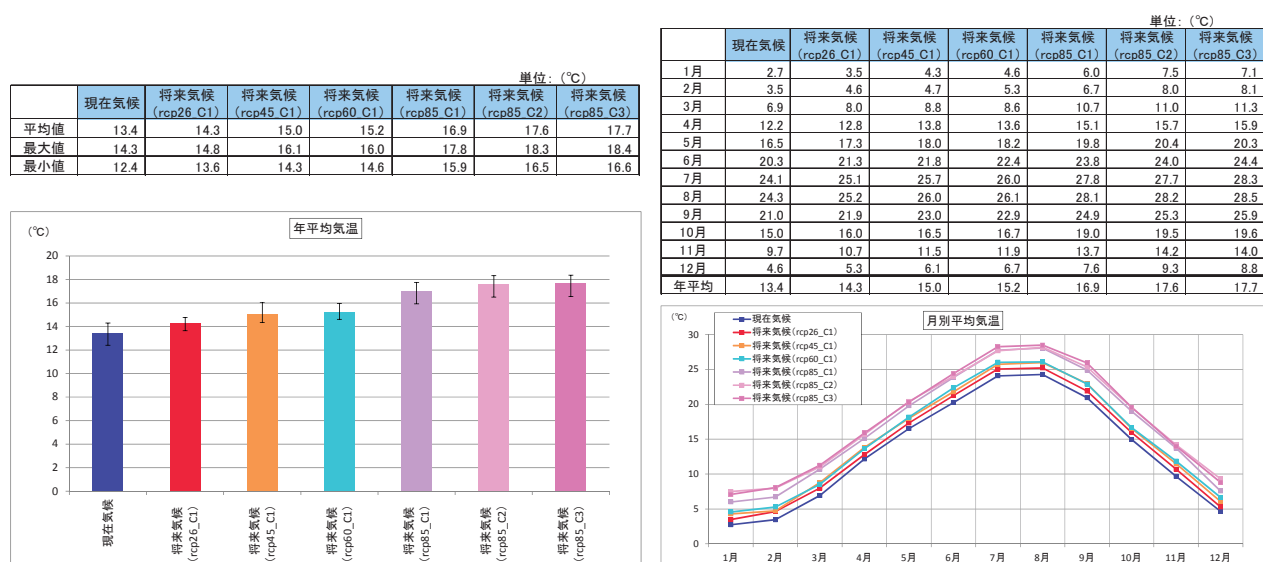
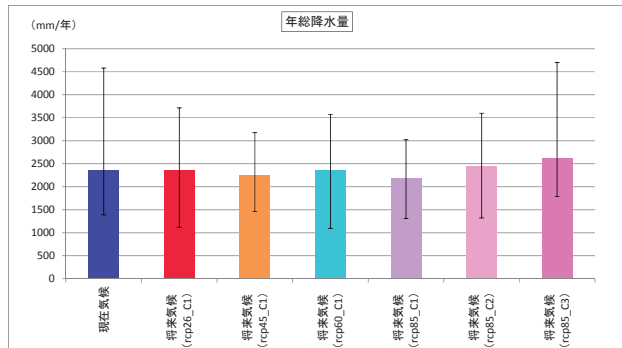


図 4-38 ケース毎の気温の比較 (左 : 年平均気温、右 : 月別平均気温)

単位: (mm/年)							
	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
平均値	2,346	2,361	2,237	2,357	2,192	2,449	2,624
最大値	4,581	3,717	3,176	3,571	3,022	3,600	4,703
最小値	1,387	1,120	1,463	1,095	1,308	1,324	1,786



単位: (mm/月)							
	現在気候	将来気候 (rcp26_C1)	将来気候 (rcp45_C1)	将来気候 (rcp60_C1)	将来気候 (rcp85_C1)	将来気候 (rcp85_C2)	将来気候 (rcp85_C3)
1月	70	72	69	73	78	77	93
2月	82	84	71	78	69	101	77
3月	147	166	181	151	144	173	158
4月	153	132	153	136	133	131	150
5月	208	187	200	197	210	212	196
6月	298	218	198	203	208	291	211
7月	338	321	325	357	317	345	410
8月	379	392	327	354	284	371	436
9月	344	370	404	439	417	372	500
10月	149	163	108	138	154	147	204
11月	112	176	141	144	109	158	121
12月	66	81	57	88	70	73	66
年合計	2,346	2,361	2,237	2,357	2,192	2,449	2,624

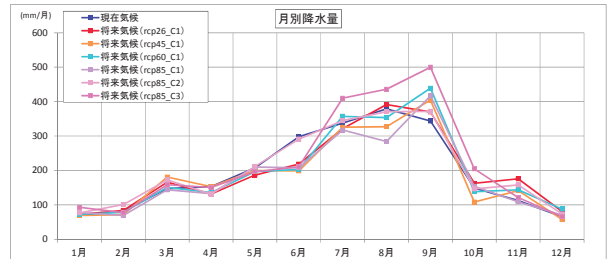
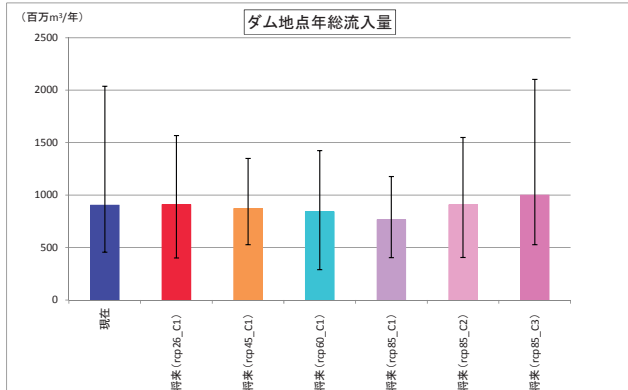


図 4-39 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: (百万m ³ /年)							
	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
平均	904.4	908.8	870.9	840.9	763.3	906.0	1,000.9
最大値	2,037.0	1,567.9	1,349.1	1,423.6	1,176.9	1,548.5	2,103.0
最小値	455.7	400.1	527.4	288.6	404.5	406.1	526.6



単位: (m ³ /s)							
	現在	将来 (rcp26_C1)	将来 (rcp45_C1)	将来 (rcp60_C1)	将来 (rcp85_C1)	将来 (rcp85_C2)	将来 (rcp85_C3)
1月	11.2	12.3	11.0	12.2	12.3	11.4	13.5
2月	13.8	13.3	11.2	13.2	11.9	14.2	12.7
3月	18.8	20.4	22.5	19.1	15.9	22.2	18.4
4月	23.1	20.0	22.7	19.2	17.9	19.2	20.0
5月	27.0	23.8	25.8	26.4	26.9	24.7	25.3
6月	37.5	25.7	22.1	22.9	23.2	32.2	22.2
7月	48.9	50.4	48.2	53.6	42.7	47.4	61.0
8月	53.8	56.4	44.8	48.0	32.9	60.2	53.9
9月	55.9	57.6	64.9	60.7	64.9	60.2	83.8
10月	21.5	26.1	17.1	18.7	17.2	18.7	32.5
11月	18.3	30.1	19.0	18.0	14.9	23.1	18.2
12月	11.6	15.7	12.2	14.0	11.5	12.7	12.3

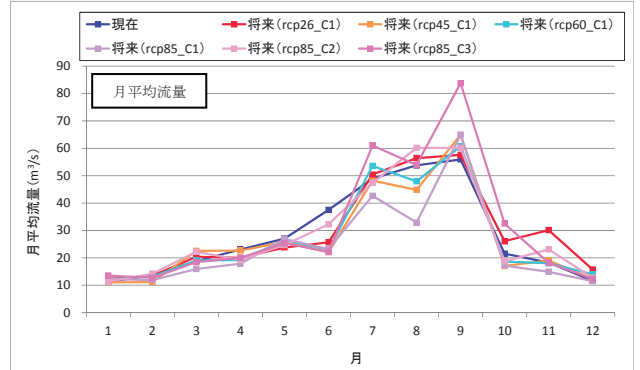


図 4-40 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

2) 水質の変化

早明浦ダムにおける水質の変化について以下に示す。

早明浦ダムでは気候変動により、温水放流および冷水放流の増加といった水質の変化が確認される。

表 4-12 気候変動による水質の変化

水質変化現象	変化の概要
藻類増殖 (図 4-41)	<ul style="list-style-type: none"> 現在気候、将来気候とも、年平均表層 Chl-a 濃度は 1.0$\mu\text{g/L}$ 前後と小さく、気候変動に伴う変化も小さい。
底層水質悪化 (図 4-42)	<ul style="list-style-type: none"> 現在気候、将来気候とも、底層 DO が 2mg/L (溶出が生じやすくなる DO レベル) 未満となることはない。
濁度の上昇 (図 4-43)	<ul style="list-style-type: none"> 現在気候、将来気候とも、年平均表層 SS 濃度は 1.0mg/L 程度と小さく、SS25mg/L (環境基準値)の超過も見られない。 早明浦ダムは比堆砂量が大きくダム類型化では濁度の上昇が起きやすいと想定されたが、貯水規模が大きいため、ダムサイトに到達するまでに濁質が沈降し、濁りレベルが小さくなったと考えられる。 濁りの程度が低いにも関わらず、早明浦ダムで濁りが課題として認識されているのは、ダム下流の住民との調整により、小さい濁りレベル (濁度 5) で管理しているためと考えられる。
水温の上昇 (図 4-44 ～図 4-47)	<ul style="list-style-type: none"> 表層水温の年平均値で、17.5$^{\circ}\text{C}$ (現在)、20.9$^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.4$^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 放流水温は年平均値で 14.5$^{\circ}\text{C}$ (現在) から 17.4$^{\circ}\text{C}$ (将来 RCP8.5C3) で最大 3.2$^{\circ}\text{C}$ の上昇となる。 温水放流の年間平均日数は、146 日 (現在) から 167 日 (将来 RCP4.5C1) となり最大 21 日増加する。 冷水放流の年間平均日数は、37 日 (現在) から 60 日 (将来 RCP8.5C1) となり最大 23 日増加する。
まとめ (気候変動により影響を受ける水質変化現象)	<p>《水質の変化が大きと思われる現象》</p> <ul style="list-style-type: none"> 流入水温及び貯水池内水温及び放流水温が上昇する。これらに伴い、下流への温水放流も増加する。 気候変動により上昇した流入水温に比べて、現在、選択取水設備の運用ルール^{※)}で設定している放流目標水温が低くなるため冷水放流が増加する。 <p>《水質の変化が小さいと思われる現象》</p> <ul style="list-style-type: none"> 該当なし

※)放流目標水温に従って取水深を決定する運用

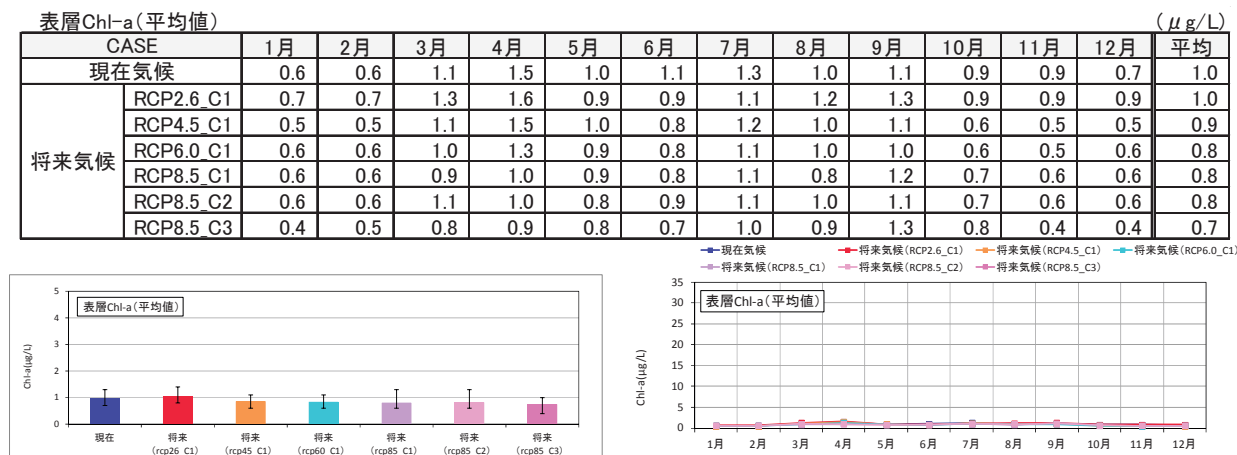


図 4-41 ケース毎の表層 Chl-a (左下 : 年平均値、右下 : 月平均値)

底層DO 2.0mg/L低下日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP4.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP6.0_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5_C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RCP8.5_C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

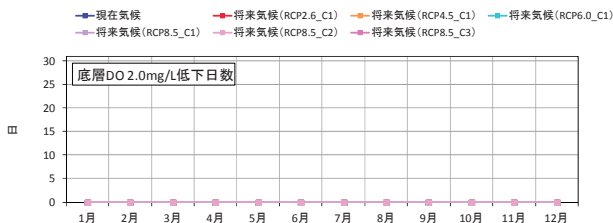


図 4-42 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

表層SS(平均値)

(mg/L)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7
将来気候	RCP2.6_C1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.8	1.3	1.1	1.1	1.4	1.1
	RCP4.5_C1	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.3	0.6	0.7	1.2	1.5	1.4	1.3
	RCP6.0_C1	1.0	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3	0.6	1.0	1.3	1.3	1.3	1.2
	RCP8.5_C1	0.8	0.7	0.5	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	1.2	1.0	1.1	1.0
	RCP8.5_C2	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.3	0.7	0.9	0.9	1.0	1.3	1.1
RCP8.5_C3	0.8	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	1.3	1.2	1.2	1.1	

放流SS25mg/L超過日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP4.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP6.0_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RCP8.5_C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RCP8.5_C3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

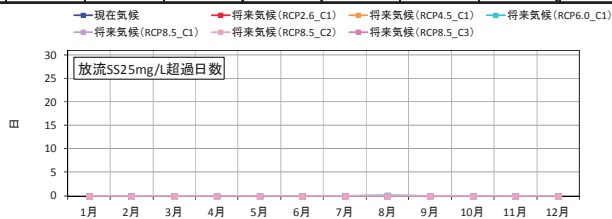
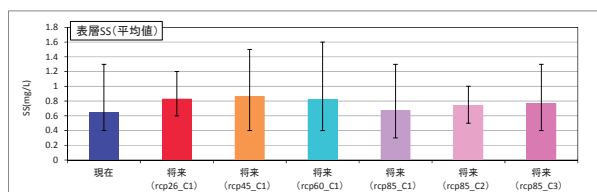


図 4-43 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

表層水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	10.3	9.3	10.7	14.8	18.7	21.8	25.4	25.9	23.0	19.8	16.4	13.2	17.5	
将来気候	RCP2.6 C1	10.3	9.8	11.4	15.4	19.6	22.8	25.6	23.3	20.1	16.5	13.1	17.9	
	RCP4.5 C1	11.9	10.7	12.1	16.1	20.0	23.6	26.5	27.3	24.6	21.5	18.5	19.0	
	RCP6.0 C1	11.9	11.0	12.2	16.3	20.3	24.1	27.0	27.3	24.6	21.5	18.3	19.2	
	RCP8.5 C1	12.3	11.6	13.7	17.3	21.6	25.4	28.5	28.9	25.3	22.7	19.3	15.6	20.2
	RCP8.5 C2	13.2	12.4	13.9	17.7	22.0	25.3	28.2	28.9	26.3	23.3	19.5	16.0	20.6
RCP8.5 C3	13.7	12.7	14.2	17.9	22.0	25.8	28.6	29.2	26.1	22.9	20.1	16.8	20.9	

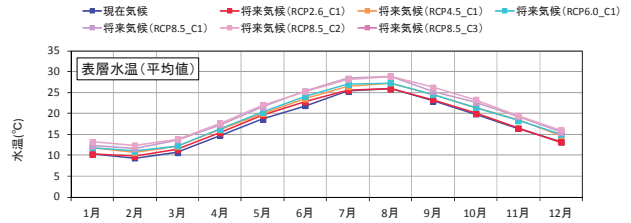
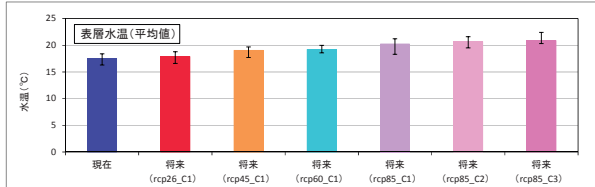


図 4-44 ケース毎の表層水温

放流水温(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	10.2	8.9	8.8	10.7	14.8	16.2	18.1	18.5	19.5	18.8	16.2	13.1	14.5	
将来気候	RCP2.6 C1	10.7	9.5	9.5	11.0	14.5	16.2	17.6	19.3	20.8	19.7	17.0	13.7	15.0
	RCP4.5 C1	11.7	10.3	10.1	11.1	14.8	16.1	18.2	21.4	21.8	20.7	18.4	14.8	15.8
	RCP6.0 C1	11.8	10.5	10.3	11.3	14.8	16.2	18.8	21.6	21.6	20.4	18.1	14.9	15.9
	RCP8.5 C1	12.1	11.0	11.2	12.2	14.8	17.3	20.8	23.8	22.3	20.7	19.0	15.5	16.7
	RCP8.5 C2	13.0	11.7	11.7	12.3	15.1	17.7	21.2	23.2	23.6	22.1	19.4	15.9	17.2
RCP8.5 C3	13.5	12.1	12.0	12.6	15.1	17.7	21.1	23.5	23.3	21.6	19.9	16.7	17.4	

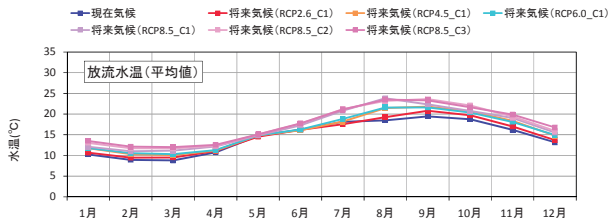


図 4-45 ケース毎の放流水温

温水放流日数(平均値)

(日)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	23.1	6.2	1.0	0.0	0.4	1.0	3.0	7.9	21.5	28.5	28.5	25.0	146.0	
将来気候	RCP2.6_C1	17.5	5.0	0.3	0.1	0.3	0.7	4.4	12.0	20.7	28.6	26.8	26.5	142.9
	RCP4.5_C1	24.0	10.5	0.2	0.0	0.1	0.3	3.4	14.8	25.0	30.0	29.3	29.1	166.8
	RCP6.0_C1	23.7	8.6	0.1	0.0	0.1	0.6	3.6	13.1	22.5	29.2	29.4	27.2	158.2
	RCP8.5_C1	17.2	8.1	0.4	0.3	0.2	2.0	5.9	15.9	18.8	23.8	28.9	27.3	148.9
	RCP8.5_C2	24.6	2.5	0.9	0.0	0.3	2.8	6.6	16.0	24.0	30.4	28.7	28.0	164.8
RCP8.5_C3	21.5	7.9	0.2	0.1	0.1	2.1	5.0	12.3	20.8	30.4	29.9	30.5	160.9	

温水放流温度(平均値)

(°C)

CASE	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
現在気候	1.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.8	1.7	2.6	2.9	2.4	2.2	
将来気候	RCP2.6_C1	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.3	1.5	2.5	2.6	2.2	
	RCP4.5_C1	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.9	2.0	3.5	4.1	2.8	
	RCP6.0_C1	1.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.3	1.7	3.3	3.4	2.5	
	RCP8.5_C1	1.7	0.8	0.2	0.0	0.0	0.3	0.7	1.9	1.7	2.4	3.1	3.2	2.5
	RCP8.5_C2	1.5	0.7	0.1	0.0	0.1	0.2	0.7	1.8	2.0	3.0	3.2	2.7	2.4
RCP8.5_C3	1.3	0.8	0.0	0.0	0.5	0.3	1.0	1.3	1.4	2.8	3.5	3.8	2.5	

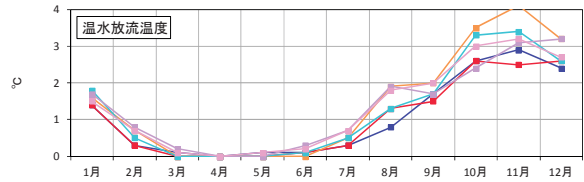
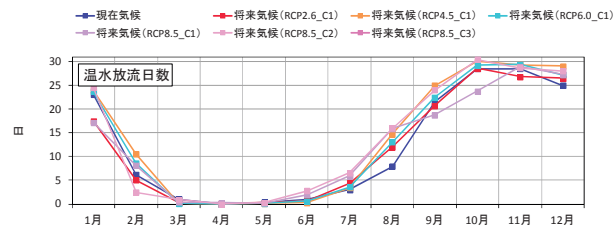


図 4-46 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)

冷水放流日数(平均値)														(日)
CASE		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候		0.0	0.0	0.1	0.5	0.0	5.1	15.5	12.5	3.1	0.5	0.0	0.0	37.3
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.2	0.2	1.0	0.9	9.2	17.0	6.6	1.9	0.4	0.0	0.0	37.3
	RCP4.5 C1	0.0	0.0	0.0	6.3	3.1	19.5	20.4	5.6	1.4	0.4	0.0	0.0	56.7
	RCP6.0 C1	0.0	0.0	0.1	0.9	3.2	19.4	17.6	5.2	1.7	0.4	0.0	0.0	48.4
	RCP8.5 C1	0.3	0.0	0.0	8.5	9.3	22.2	12.1	4.8	1.8	1.2	0.0	0.0	60.2
	RCP8.5 C2	0.1	0.0	0.2	5.7	14.6	20.8	8.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	53.5
RCP8.5 C3	0.0	0.0	0.0	8.1	15.0	19.7	13.6	2.4	0.4	0.0	0.0	0.0	59.2	

冷水放流温度(平均値)														(°C)
CASE		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
現在気候		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	1.8	1.1	0.1	0.0	0.0	2.0
将来気候	RCP2.6 C1	0.0	0.4	0.1	0.1	0.4	1.1	2.0	1.9	0.8	0.1	0.0	0.0	2.6
	RCP4.5 C1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.5	1.1	2.5	1.8	0.7	0.1	0.0	0.0	2.1
	RCP6.0 C1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.6	1.2	2.7	1.6	0.7	0.1	0.0	0.0	2.3
	RCP8.5 C1	0.0	0.4	0.0	0.5	1.2	1.5	2.3	1.7	0.7	0.3	0.0	0.0	2.0
	RCP8.5 C2	0.0	0.3	0.0	0.3	0.6	1.3	2.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
	RCP8.5 C3	0.0	0.3	0.0	0.4	0.7	1.6	1.9	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.6

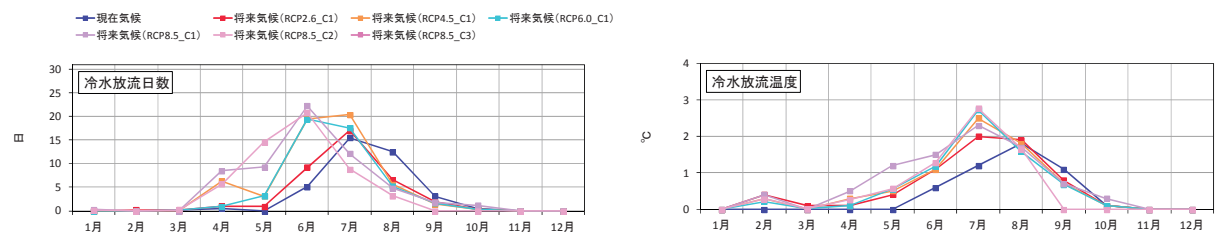


図 4-47 ケース毎の冷水放流日数（左）と冷水放流時の超過水温（右）

4.4 気候変動によるダム貯水池の水質変化機構の補足検討

4.4.1 ダム貯水池の藻類増殖に関する補足検討

ダム貯水池の藻類増殖については、一般的には、栄養塩と水温を主な制限因子としつつ、複雑な機構のもと存在していると考えられる。本検討における予測計算では、気候変動後の貯水池内への流入負荷量に顕著な増加はなく、また、貯水池内の表層水温は年間を通して概ね一律 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 程度上昇する結果となっているものの、この影響が藻類増殖の早期化・長期化に留まり、藻類増殖の最適水温との関係から、夏季の藻類増殖も限定的なため、藻類増殖は気候変動後で顕著な増加となっていないものと思われる。

(1)ダム貯水池の無機態窒素(IN)または無機態リン(IP)の挙動について

図 4-48に釜房ダムにおけるクロロフィル a と窒素 (TN 及び IN) とリン(TP 及び IP)の予測計算結果 (RCP8.5C3) を示す。釜房ダムでは、部分的に、藻類増殖による無機態リンの枯渇が見られる (図 4-48の赤矢印)。

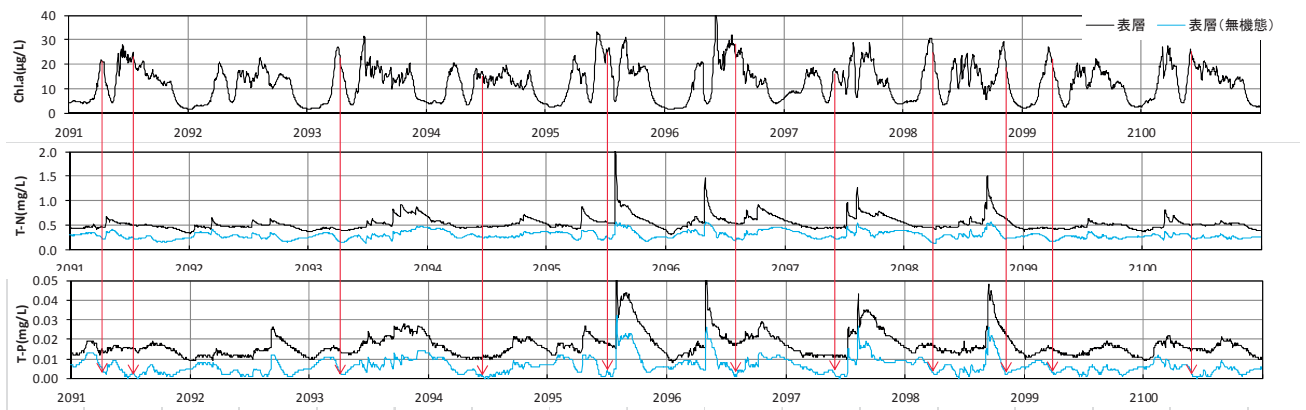


図 4-48 釜房ダムにおける Chl-a、窒素、リンの予測計算結果 (RCP8.5_C3)

(2)ダム貯水池の水温及びクロロフィル a の挙動について

図 4-49に釜房ダムにおける表層水温とクロロフィル a の予測計算結果 (月平均値) を示す。各月とも気候変動後に一律 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ の水温上昇が確認されるが、これは水温が最も高い8月を軸として、1月~7月は現在気候と比べて概ね1ヶ月後の水温の前倒し、9月~12月は概ね1ヶ月前の水温の後送りのような変化となり、藻類の増殖波形も同様に遷移するに留まっている。なお、8月は気候変動後に平均水温で約 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ の上昇となるが、藻類増殖の最適水温等との関係から頭打ちとなっており、結果的に顕著な増殖には至っていない。

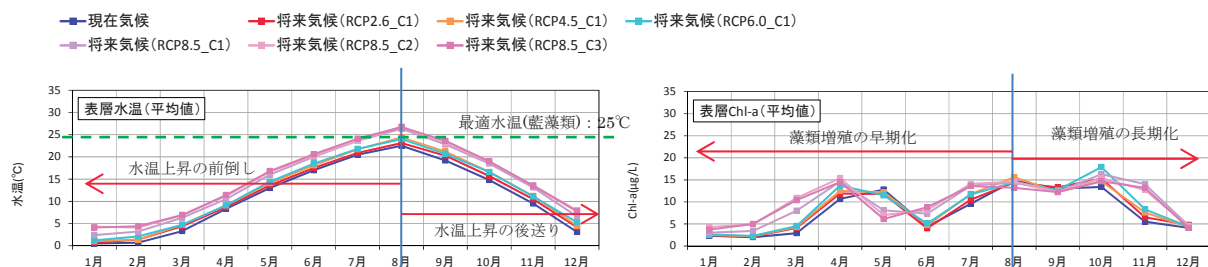


図 4-49 釜房ダムにおける水温、クロロフィル a の予測結果

4.4.2 ダム貯水池の水温上昇に伴う有機物分解のための酸素消費および底層貧酸素化に関する補足検討

気候変動によるダム貯水池の水質への影響として底層の貧酸素化が見られるダムがある。本検討で用いた貯水池水質予測モデルにおける底層での有機物分解のための酸素消費の基礎式は以下のとおりであり、底層での酸素消費量は、底層 COD 濃度と水温により変化する酸素消費速度から算出されている。

◇底泥における有機物分解のための酸素消費

$$R_{KC} \theta_{KC}^{T-20} C_{COD}$$

- C_{COD} : 底層 COD 濃度 (mg / l) ;
- R_{KC} : COD 物質による溶存酸素消費速度 (mgO₂ / mgCOD · day) ;
- θ_{KC} : COD 物質による溶存酸素消費速度補正係数 ;
- T : 水温 (°C)

図 4-50に気候変動後に底層貧酸素化が顕著となった耶馬溪ダム、寒河江ダムの底層水温の変化を示す。将来気候においては、気温上昇等に伴う受熱量の増加により底層での水温も上昇しており、これにより有機物分解のための酸素消費及び底層貧酸素化が進行していると考えられる。

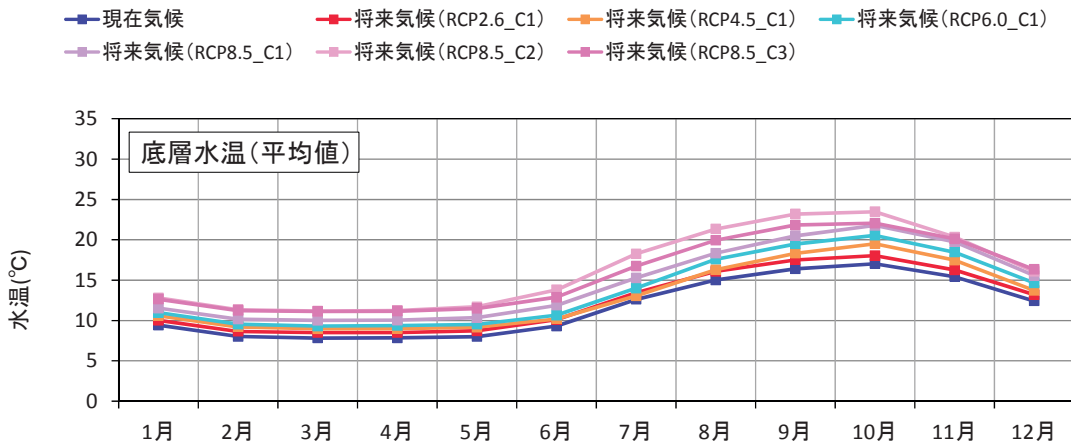


図 4-50(1) 耶馬溪ダムにおける底層水温の予測結果 (月平均値)

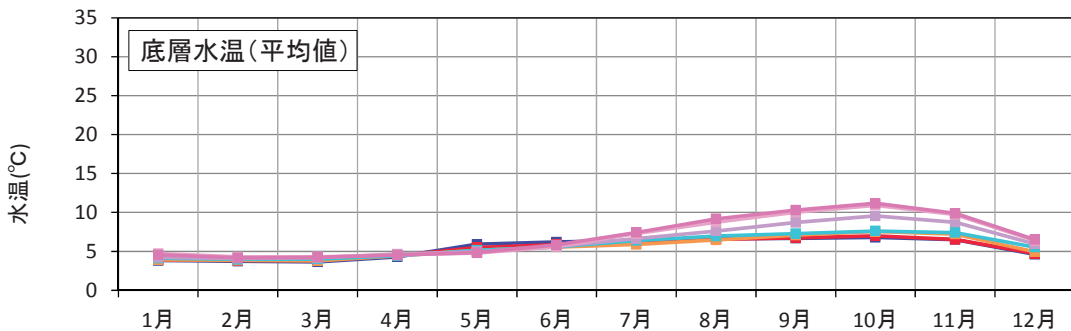


図 4-50(2) 寒河江ダムにおける底層水温の予測結果 (月平均値)

4.4.3 ダム貯水池の濁度上昇に関する補足検討

気候変動によるダム貯水池の水質への影響としてダム貯水池の濁度上昇が見られるダムがある。図 4-51のとおり、寒河江ダムのダム流入量は、気候変動により、発生確率が低い上位の流入量規模は大きくなる傾向がある。また、流入濁質成分が多いダムであることから、図 4-52のとおり、気候変動後に出水後の濁度の上昇が顕在化しやすいものと思われる。

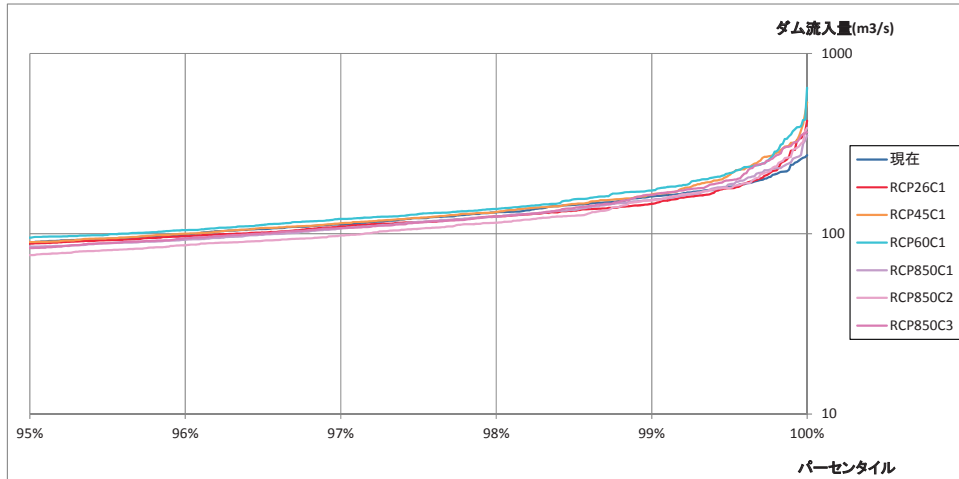


図 4-51 寒河江ダムにおける各シナリオのパーセンタイル毎のダム流入量（上位 5%）

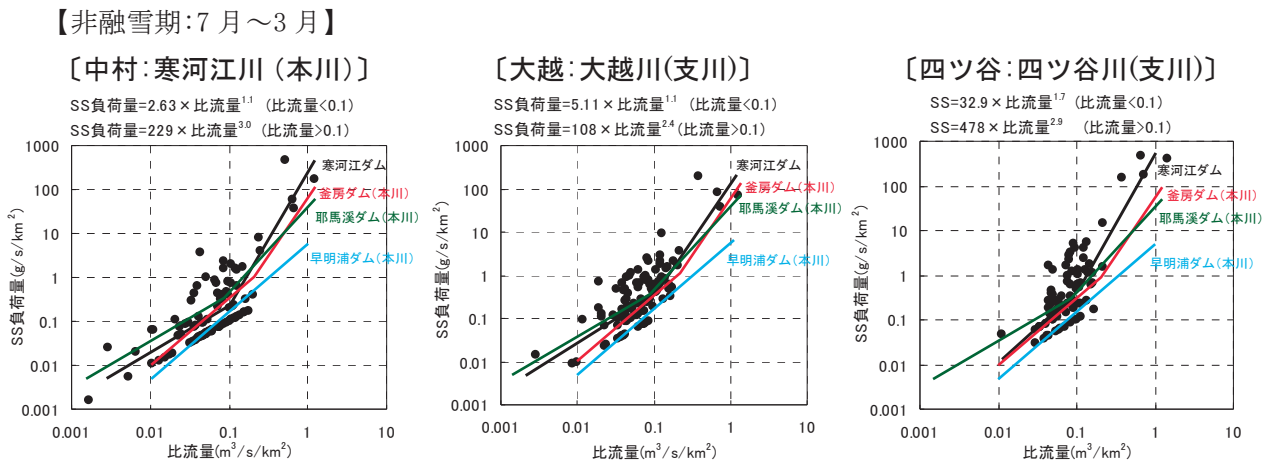


図 4-52 寒河江ダムの懸濁態物質(SS)のI-q式（他ダムとの比較）