

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.856

August 2015

気候変動によるダム貯水池の水質への影響に関する研究

河川研究部 水循環研究室

Study on the impact of climate change on the water quality of dam reservoirs

Water Cycle Division,River Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure,Transport and Tourism,Japan

## 気候変動によるダム貯水池の水質への影響に関する研究

川崎 将生\*  
西村 宗倫\*\*

### Study on the impact of climate change on the water quality of dam reservoirs

Masaki Kawasaki\*  
Sorin Nishimura\*\*

#### 概要

本研究では、4のダム貯水池に対して、水利用モデル、流出解析モデルと水質モデルを構築し、これらのモデルに、気候変動の予測データを入力することにより、ダム貯水池における気候変動の影響をまとめた。

キーワード : 気候変動、水質、ダム貯水池

#### Synopsis

In this study, we built a water utilization model, a run-off analysis model and a water quality model for four dam reservoirs. Moreover, we inputted the climate change projection data to these models and analyzed the impact of climate change on the water quality of the dam reservoirs.

Key Words : climate change, water quality, dam reservoir

---

\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 室長  
Head, Water Cycle Division, River Department, NILIM

\*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官  
Senior Researcher, Water Cycle Division, River Department, NILIM

## 【目次】

1. 序論 .....	1
1.1 研究目的・研究概要 .....	1
1.2 研究フロー .....	1
2. 検討対象とするケーススタディダムの選定.....	2
2.1 選定方針 .....	2
2.2 選定結果 .....	3
3. 流出・利水モデル及び水質解析モデルの作成 .....	9
3.1 流出モデル .....	9
3.2 利水モデル .....	15
3.3 水質解析モデル .....	16
4. 気候変動によるダム貯水池の水質変化試算.....	22
4.1 将来予測シナリオと予測計算ケース .....	22
4.2 予測計算条件.....	23
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.....	27
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.....	54
5. 気候変動によるダム貯水池の水質影響への適応策の整理 .....	57
5.1 釜房ダムにおける適応策群の検討.....	58
5.2 耶馬溪ダムにおける適応策群の検討 .....	63
5.3 寒河江ダムにおける適応策群の検討 .....	70
5.4 早明浦ダムにおける適応策群の検討 .....	77
5.5 ダム冷熱源の積極的な活用に関する補足検討 .....	81

6. 気候変動による水質変化と適応策のまとめ.....	85
7. 本研究における留意事項 .....	86
7.1 検討の不確実性 .....	86
7.2 適応策の設定手法.....	86
7.3 ケーススタディダムの偏位性.....	86
7.4 予測計算における流入負荷量条件.....	86
7.5 ダム冷熱源の積極的な活用 .....	86

## 1. 序論

### 1.1 研究目的・研究概要

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、第4次評価報告書で、最も厳しい緩和（温室効果ガスの削減）の努力を行ったとしても、今後数十年に渡り、気候変動のさらなる影響を避けられないこと、そのため、長期的な緩和とともに適応の取り組みが不可欠であることを指摘している。

このことを受けて、環境基本法に基づく第4次環境基本計画では、気候変動に伴う水環境への影響の把握及び適応策の検討が、重点的な取り組み事項として位置づけられている。さらには、政府全体の適応計画について、平成27年度の夏頃に閣議決定が予定されている。

更に、IPCCが公表した第4次評価報告書に関連した政府の検討委員会や研究プロジェクト等の資料をとりまとめた総合レポート「日本の気候変動とその影響（2013.3）」では、気候変動が水質に及ぼす影響について、琵琶湖を例に「水温上昇に伴い湖水の全循環不全や下層の溶存酸素濃度の低下等が予測されている」との記載がある。

そのため、ダム貯水池においても同様の影響が懸念されることから、ダムにおける影響を把握するとともに、今後、個別ダムで検討が必要となった場合の参考事例とすることを目的として、ケーススタディダムに対して、気候変動が「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行った。また、適応策の試算の一例として、現在気候と将来気候の水質の変化分を解消するための水質改善対策の検討を行った。

具体には、平成25～26年度において、ケーススタディダムに対して、流域の流出・利水モデル、ダム貯水池の水質モデルを構築し、これに気候変動予測モデルの出力結果を入力することで、気候変動によるダム貯水池の水質・水温への影響を試算した。解析結果については、気候変動によりダム貯水池に生ずる可能性のある水質変化現象として、「藻類増殖」、「底層水質悪化」、「濁度の上昇」、「水温の上昇」に分類して整理した。また、適応策の試算の一例として、この現在気候と将来気候の水質の変化分の解消を適応策と捉え、現在、通常用いられている水質改善対策を基本に、効果が想定される対策について、単独の効果を試算した。更に、有効な対策については適応策群として設定し、ダムの気候変動に対する包括的な適応策群の効果の一例として試算した。

### 1.2 研究フロー

本研究のフローを図1-1に示す。

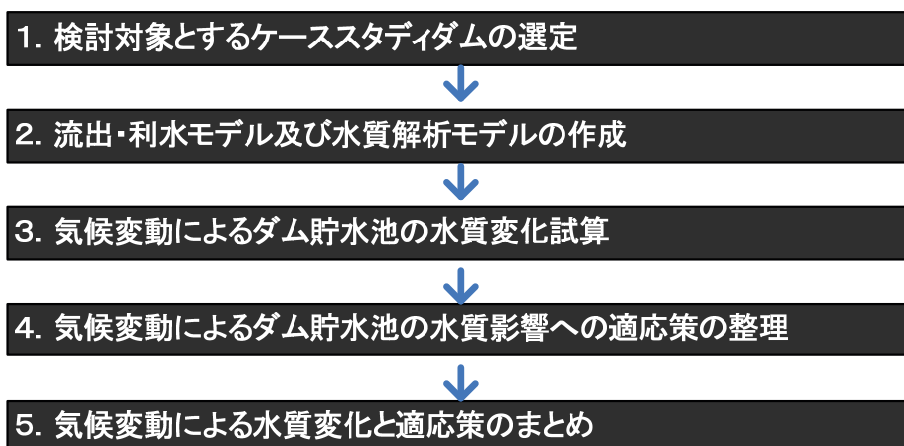


図 1-1 本研究のフロー

## 2. 検討対象とするケーススタディダムの選定

### 2.1 選定方針

本検討では、気候変動によりダム貯水池に生ずる可能性のある水質変化現象として、「藻類増殖※1」、「底層水質悪化※2」、「濁度の上昇※3」、「水温の上昇※4」への適応策を検討可能な4つのケーススタディダムを選定する。

- ※1 本研究では、「藻類増殖」を、ダム貯水池の表層 Chl-a 及び表層 Chl-a の 25 $\mu$ g/L 超過日数で評価している。
- ※2 本研究では、「底層水質悪化」を、ダム貯水池の底層 DO が 2.0mg/L を下回る日数で評価している。
- ※3 本研究では、「濁度の上昇」を、ダム貯水池の表層 SS 及び放流 SS の 25mg/L 超過日数で評価している。
- ※4 本研究では、「水温の上昇」を、ダム貯水池の表層水温および放流水温、更に、ダム貯水池による水温影響を評価する観点から、現在気候または将来気候における放流水温が流入水温の 20 年変動幅を超過する日数（冷水放流は変動幅下限値を、温水放流は変動幅上限値を超過する日数）で評価している。

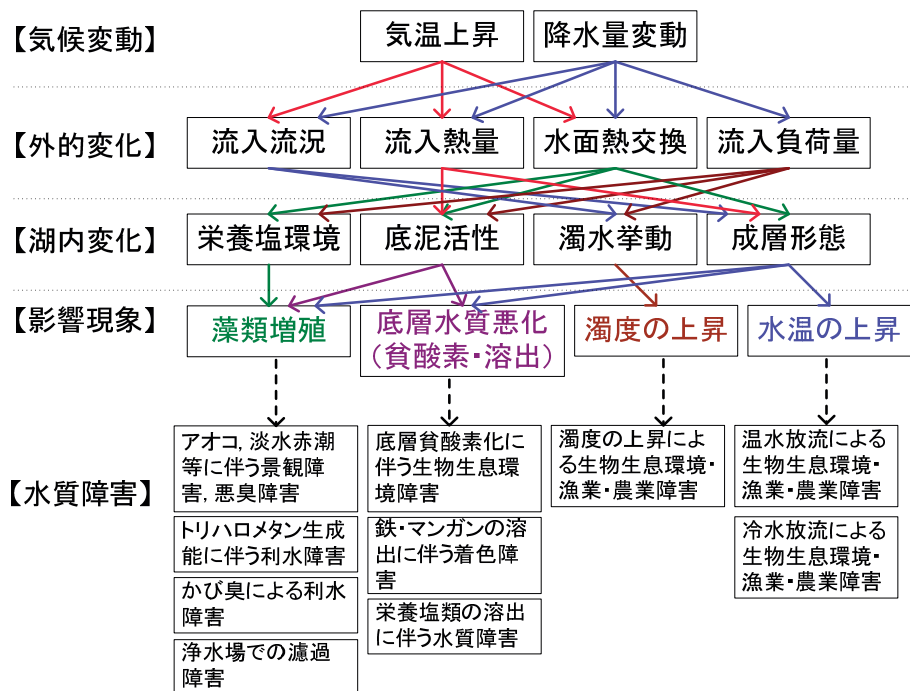


図 2-1 ダム貯水池の水質変化現象の関係概念図

## 2.2 選定結果

検討対象とするケーススタディダムは、「釜房ダム」、「耶馬溪ダム」、「寒河江ダム」、「早明浦ダム」の4ダムとした。ケーススタディダムの選定理由を以下に示す。

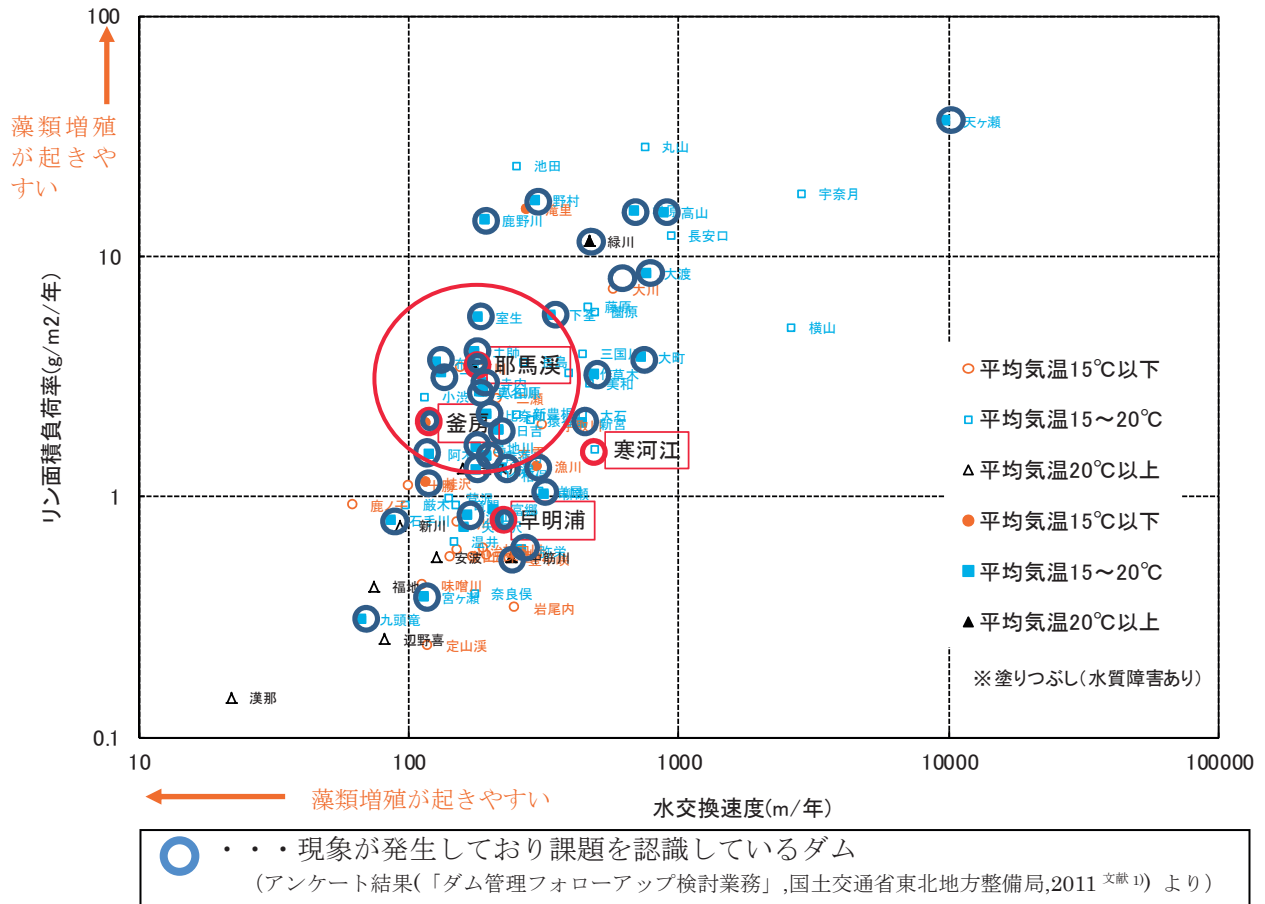
- ▶ 我が国の閉鎖的ダム水域における主要な水質問題となる藻類増殖の観点から流入リン面積負荷率が大きく貯水池の水交換速度が小さいダムとして、「**耶馬溪ダム**」、「**釜房ダム**」を選定した（図 2-2参照）。また、耶馬溪ダムは貯水池内有機汚濁が進行しており、貯水池内の水が鉛直混合する期間がほとんどないことから、底層水質悪化が懸念されるダムでもある（図 2-3参照）。両ダムは、竣工後 20 年以上を経過しており、データの整備が進んでおり、精緻な検討が可能との観点もある。
- ▶ 上記で選定した「釜房ダム」が東北の太平洋側に位置するのに対し、わが国を代表する豪雪地帯を流域に抱え、気候変動による気温上昇により融雪への影響が大きいと思われる東北の日本海側（図 2-6参照）から「**寒河江ダム**」を選定した。寒河江ダムは、洪水調節はもとより、山形県最大のダムで農地へのかんがい用水の供給や、6 市 2 郡 6 町への日量 239,000m<sup>3</sup>の上水道供給、最上川水系最大の発電など、利水面からも地域にとって非常に重要なダムである。また、ダム水深が深く、冷水放流による農業等の利水面への影響も懸念されることから、気候変動による春先の融雪期の流況や水温に影響を及ぼす代表的な例ともなる（図 2-5、図 2-6参照）。また、竣工後 20 年以上を経ており、データ整備も進んでいることから、精緻な検討が可能との観点もある。
- ▶ ここまでに選定した九州の「耶馬溪ダム」と東北の「釜房ダム」・「寒河江ダム」を地理的に補完する観点および「濁度の上昇」が問題となっている「**早明浦ダム**」を選定した（図 2-4参照）。また、早明浦ダムは有効貯水容量約 3 億 m<sup>3</sup>、利水容量約 2 億 m<sup>3</sup>を誇る、わが国でも屈指の容量を持つダムである一方、頻繁に渇水が問題となるダムであり、渇水による水温や水質に影響を及ぼす代表的な例ともなる。早明浦ダムについても竣工後 20 年以上を経ており、データの整備も進んでおり、精緻な検討が可能との観点もある。

以上の4つのダムをケーススタディダムとすることで、気候変動によりダム貯水池に生ずる可能性のある水質変化現象として、「藻類増殖」、「底層水質悪化」、「濁度の上昇」、「水温の上昇」への適応策を検討可能と考える。

各水質変化現象に関して各ダムの分布状況を次頁以降の図 2-2～図 2-7に示す。

【藻類増殖に関連する項目の各ダムの分布状況】

- ・ 藻類増殖の発生に関係する流入リン面積負荷率と貯水池の水交換速度を軸とした場合の各ダムの分布状況を以下に示す。
- ・ 耶馬溪ダム、釜房ダムはアンケート結果からも藻類増殖が課題として認識されており、全ダム群の中でも水交換速度が小さく、リン面積負荷率が大きく、藻類増殖が顕著なダムの例となる。



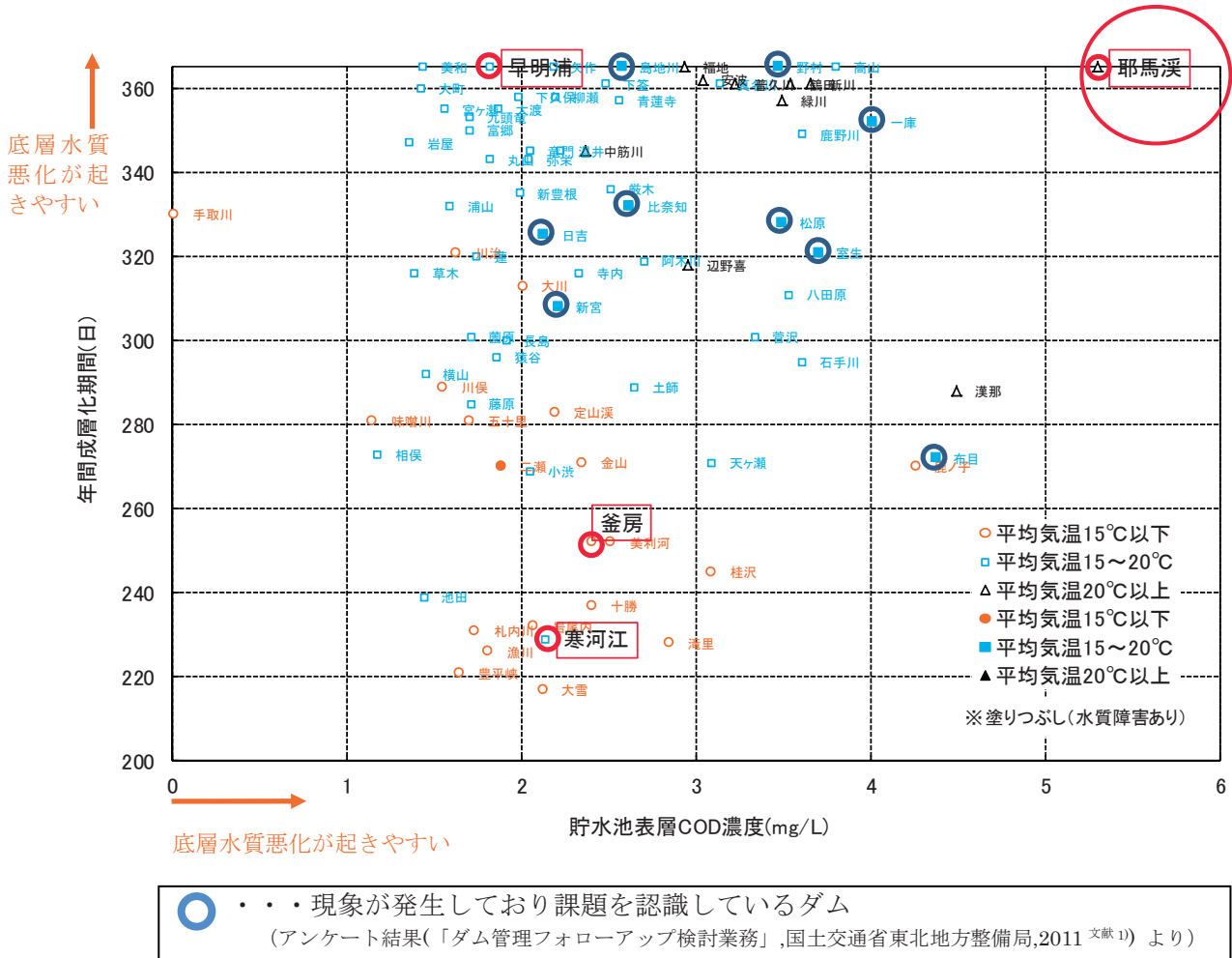
使用データ出典)ダム諸量データベース

図 2-2 藻類増殖に関連する項目の各ダムの分布状況



【底層水質悪化に関連する項目の各ダムの分布状況】

- ・ 底層水質悪化に関連する、貯水池内 COD 濃度と年間成層化期間を軸とした場合の各ダムの分布状況を以下に示す。
- ・ 特に耶馬溪ダムは、貯水池内 COD 濃度が高く、年間成層化期間が長く、底層水質悪化が懸念される。



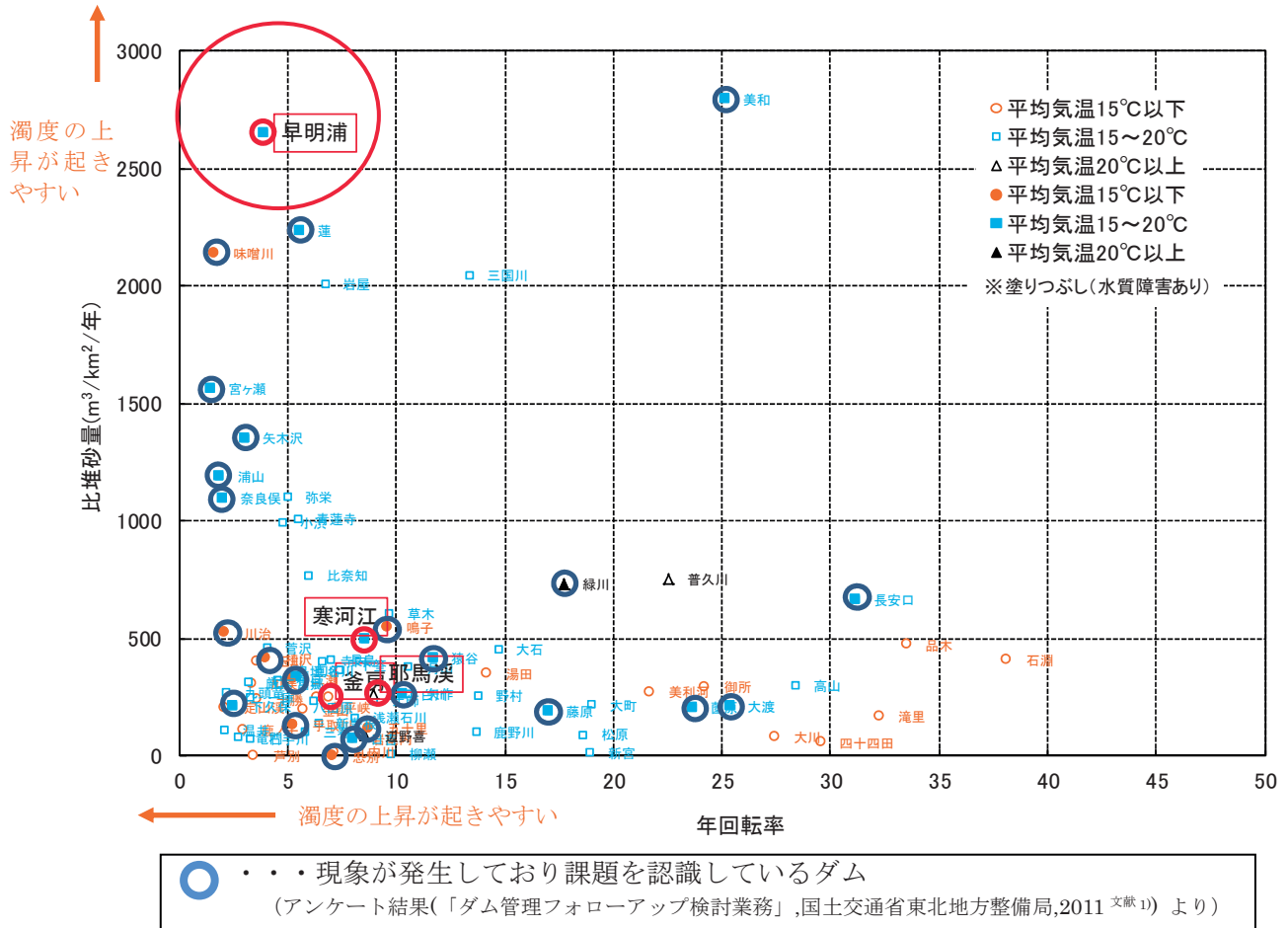
使用データ出典)ダム諸量データベース

図 2-3 底層水質悪化に関連する項目の各ダムの分布状況

※) 底層水質悪化に関する類型化の指標としては、データ元となるダム諸量データベースにおいて横断的に整理されている表層 COD 濃度を用いた。

【濁度の上昇に関連する項目の各ダムの分布状況】

- ・濁度の上昇に関連する、年回転率と比堆砂量を軸とした場合の各ダムの分布状況を以下に示す。
- ・早明浦ダムは、回転率が小さく、比堆砂量が大きく、濁度の上昇が懸念される。



使用データ出典)ダム諸量データベース

図 2-4 濁度の上昇に関連する項目の各ダムの分布状況

### 【冷水放流に関連する項目の各ダムの分布状況】

- ・冷水放流に関連する、年回転率とダム水深を軸とした場合の各ダムの分布状況を以下に示す。
- ・寒河江ダムは豪雪地帯を流域に抱えており、気候変動により顕著に気温が上昇するとされる北日本の日本海側に位置することから（図 2-6参照）、気候変動による融雪出水の早期化や水温躍層への影響が考えられ、同地域にあるダムの中でもダム水深が大きいことから冷水放流が懸念される。

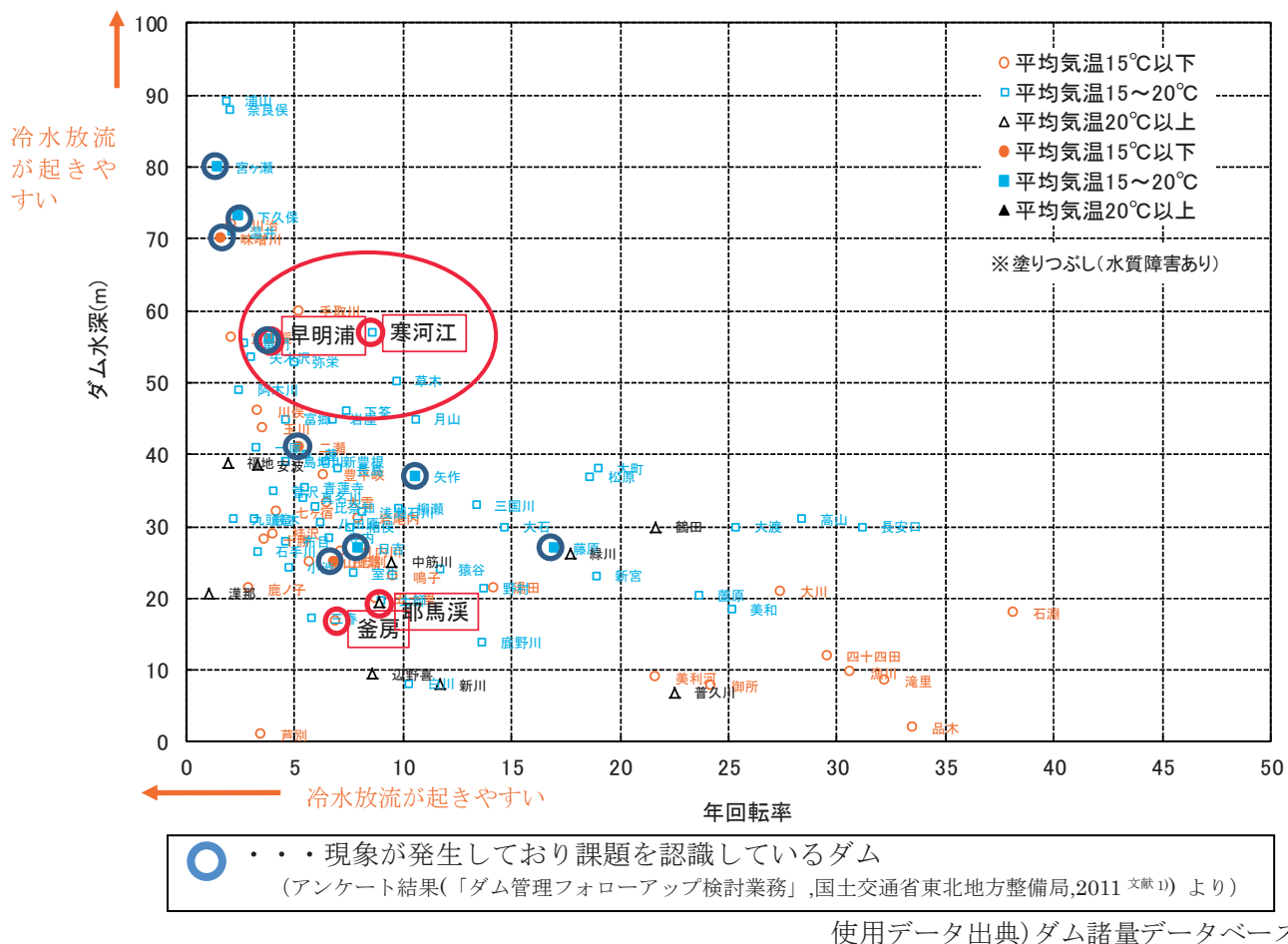
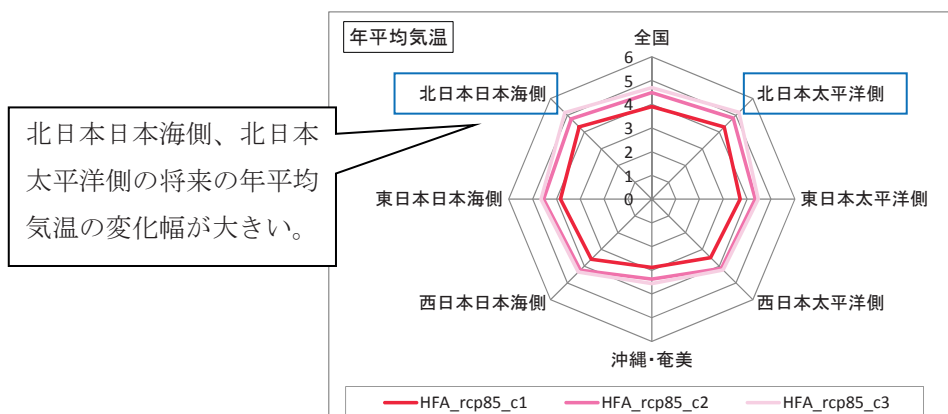


図 2-5 冷水放流に関連する項目の各ダムの分布状況



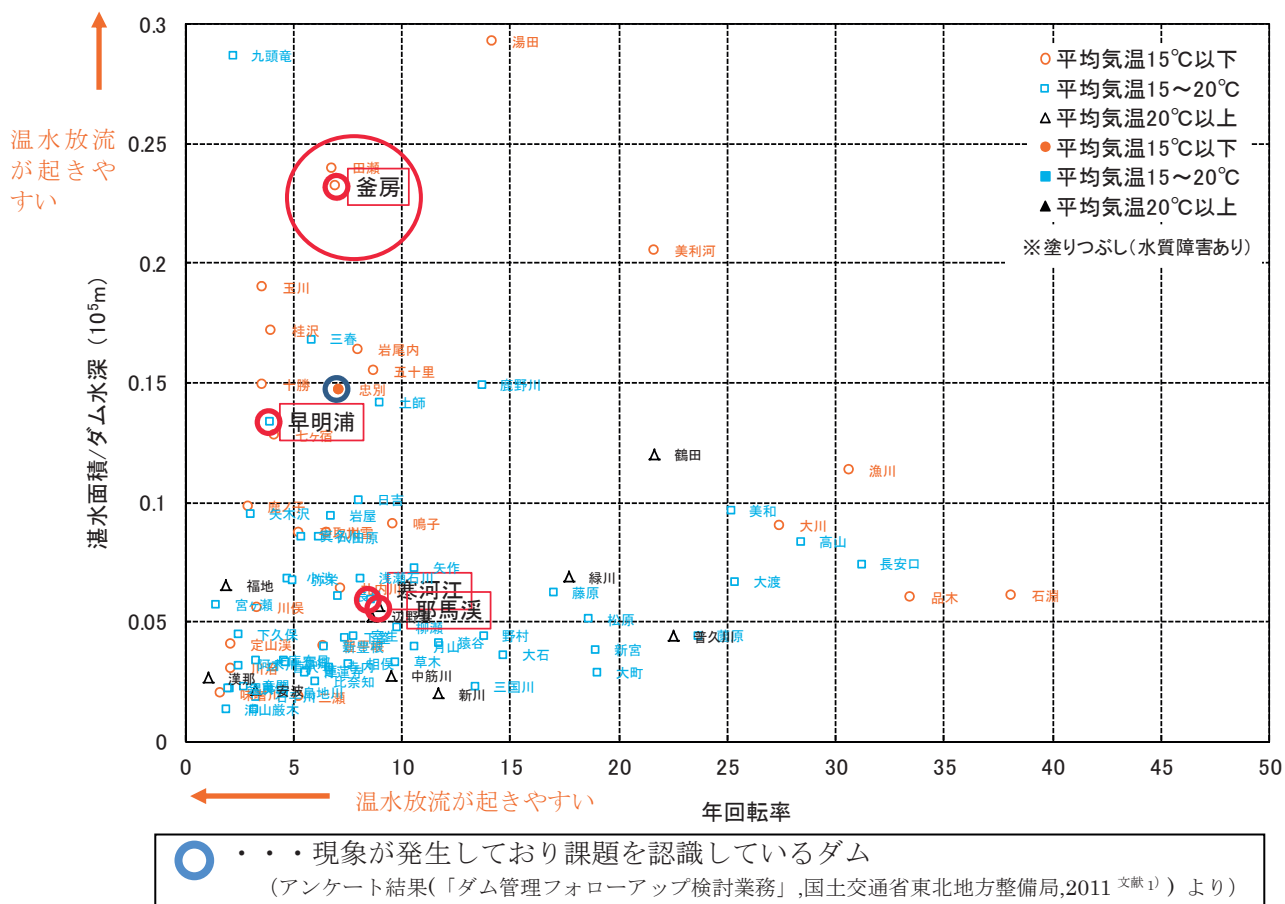
(高位レベル RCP8.5 の対象 3 ケースの現在から将来への変化幅)

図 2-6 気候変動による年平均気温の変化

(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について」,2014.6, 環境省文献2)

### 【温水放流に関連する項目の各ダムの分布状況】

- ・温水放流に関連する、年回転率と湛水面積／ダム水深を軸とした場合の各ダムの分布状況を以下に示す。
- ・釜房ダムは湛水面積／ダム水深が大きいダムであり気候変動による温水放流が懸念される。



使用データ出典)ダム諸量データベース

図 2-7 温水放流に関連する項目の各ダムの分布状況

### 3. 流出・利水モデル及び水質解析モデルの作成

釜房ダム、耶馬溪ダム、寒河江ダム、早明浦ダムについて、気候変動による水質変化試算のための流出、利水モデルおよび水質解析モデルを構築した。

#### 3.1 流出モデル

##### 3.1.1 モデル概要

###### (1) モデル構造

各ダム流域に適用した流出モデルは、非定常の分布型物理モデルである WEP モデルを基本とし、融雪・積雪を考慮したものである。WEP モデルは表 3-1および図 3-1に示すように、水循環の素過程のみならず熱輸送の素過程も同時に解析でき、モデル解析を通して気候変動による水循環系の変化を把握するのに適している。

表 3-1 流出モデルで考慮する素過程

水循環	①蒸発散	⑥地表面流れ
	②浸透	⑦河道内の流れ
素過程	③表面流出	⑧地下水流れ
	④中間流出	⑨積雪・融雪
	⑤地下水流出	
熱輸送	①正味放射	⑤潜熱フラックス
	②短波放射	⑥顕熱フラックス
素過程	③長波放射	⑦地中熱フラックス
	④人工排熱	⑧地表面温度

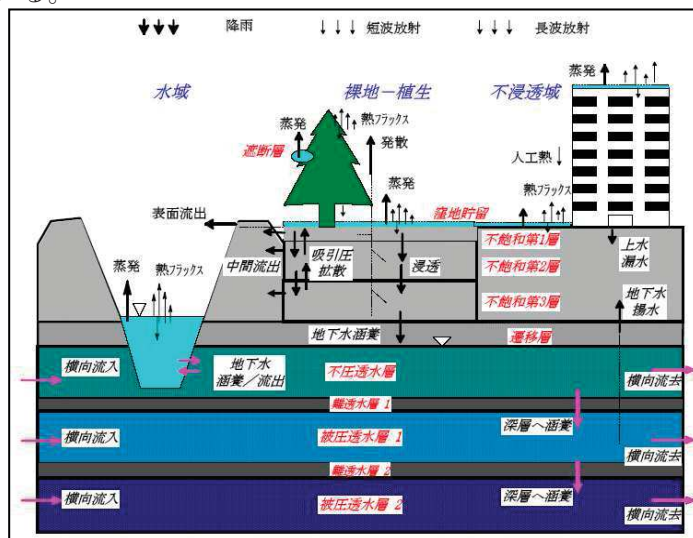


図 3-1 モデルの鉛直構造

(出典：WEP モデル解説書,土木研究所,水工研究グループ<sup>文獻3)</sup>)

図 3-2にモデルの平面構造を示す。メッシュ内の平均地盤高は「数値地図 50m メッシュ標高」に基づき、当該メッシュにおける最急勾配方向を 8 方向に分けてメッシュ別に設定している。表面流出については最急勾配方向へ流下するものとし追跡計算を行った。

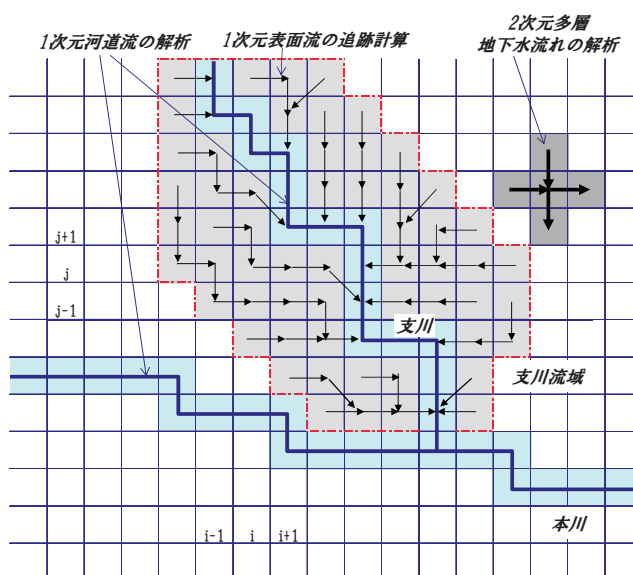


図 3-2 モデルの平面構造

(出典：WEP モデル解説書,土木研究所,水工研究グループ<sup>文獻3)</sup>)

## (2) モデル計算条件

流出モデルに設定する地形・地質、土地利用、気象条件、地表流条件、河道条件を表 3-2に示す。

各ダムで構築した流出モデルの計算範囲は、ダム上流域から下流における利水基準点までとし、解析メッシュサイズは 200m とした。

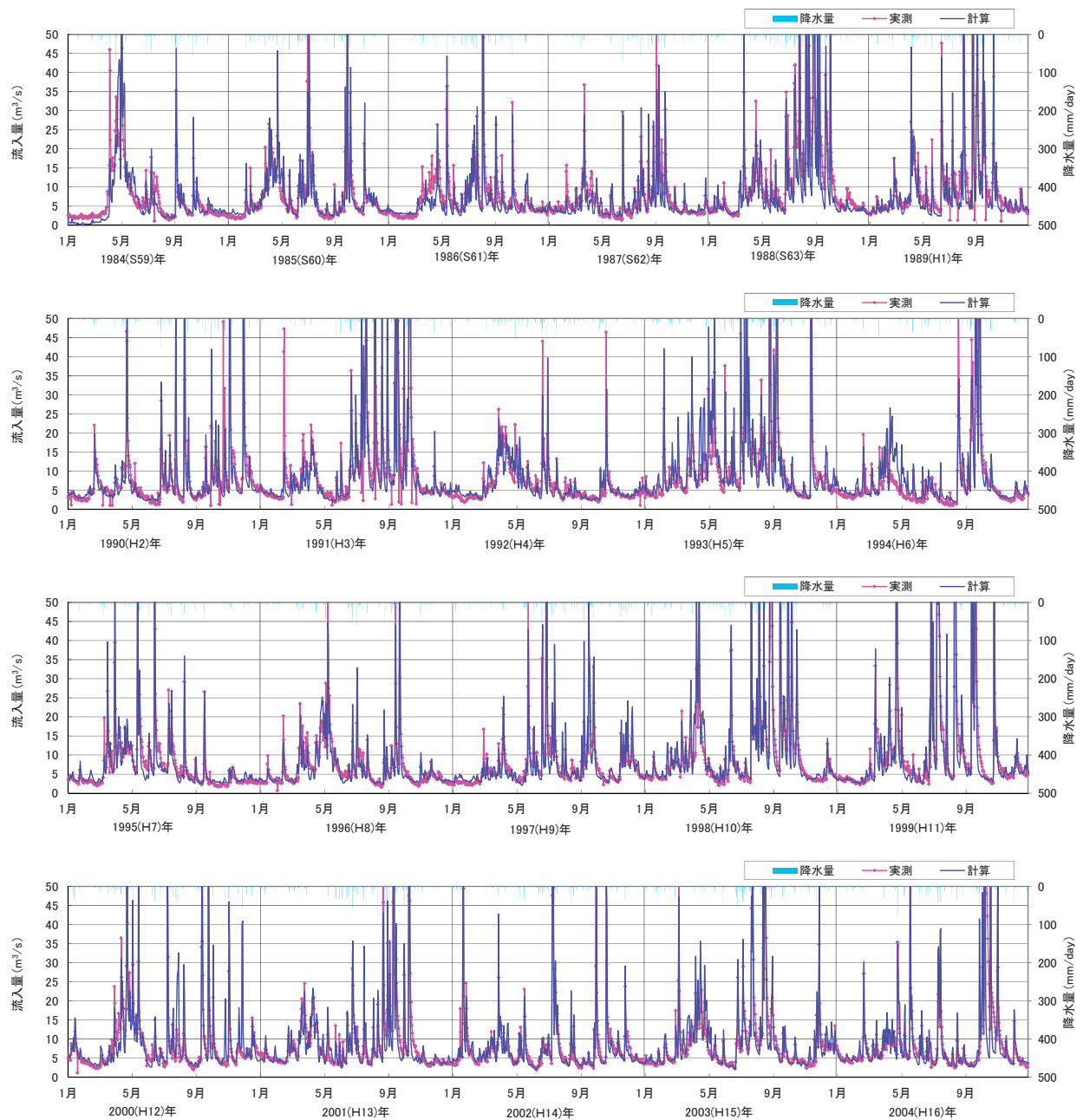
表 3-2 流出モデルに用いる計算条件

項目		内容	出典
地形・地質	計算領域	流域界	国土数値情報、河川管内図
	標高	標高(50m メッシュデータ)から 200m メッシュを作成	国土数値情報
	表層地質	表層地質メッシュ	国土数値情報
土地利用	土地利用面積	100m メッシュ土地利用	国土数値情報
気象条件	降水量	国交省雨量観測所、アメダス観測所の時間降水量	国土交通省、気象庁
	ティーセン分割	観測所位置から作成	国土交通省、気象庁
	気温	気温データ(時間)	気象庁
	ティーセン分割	観測所位置から作成	気象庁
	日射量	全天日射量データ(時間)	気象庁
	時刻データ	日照時間	気象庁
	相対湿度	相対湿度データ(時間)	気象庁
	風速	風速データ(時間)	気象庁
地表流	落水線方向	標高データから作成	作成データ
	傾斜	標高データから作成	作成データ
河道	河床標高	標高データから作成	作成データ
	河川幅	地形図等から設定	作成データ
	河川位置	地形図から河川ラインを設定	国土数値情報、 国土地理院地形図

### 3.1.2 再現検証計算

モデルの再現検証はダム流入量を対象として実施した。図 3-3～図 3-6にモデル計算値と実績値の流量ハイドロおよび月別平均流量の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。

ダム流入量の時系列変化は概ね再現出来ており、さらに、釜房ダムや寒河江ダムといった積雪融雪による流況変化も概ね再現することが出来ていることから、本モデルを用いて気象条件の長期的な変化に伴うダム流域の流出現象を評価することは可能であると考えられる。



月	月平均流量 (m³/s)	
	実測値	計算値
1	4.2	4.5
2	4.7	4.8
3	7.8	7.4
4	12.9	13.0
5	8.5	8.7
6	7.7	7.4
7	12.3	12.3
8	13.8	13.9
9	14.0	14.0
10	10.3	10.1
11	6.5	6.9
12	5.2	5.6

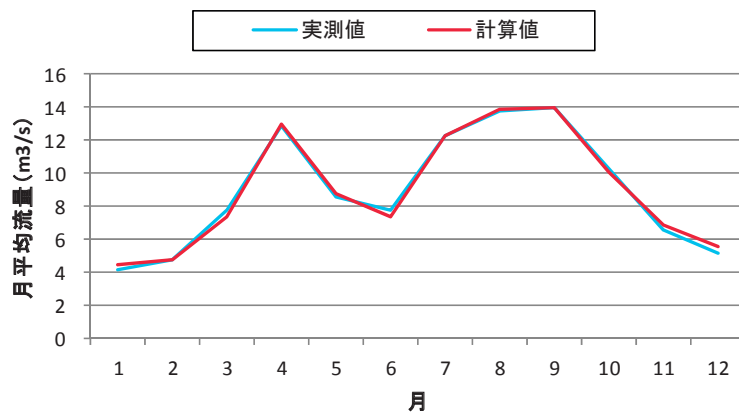
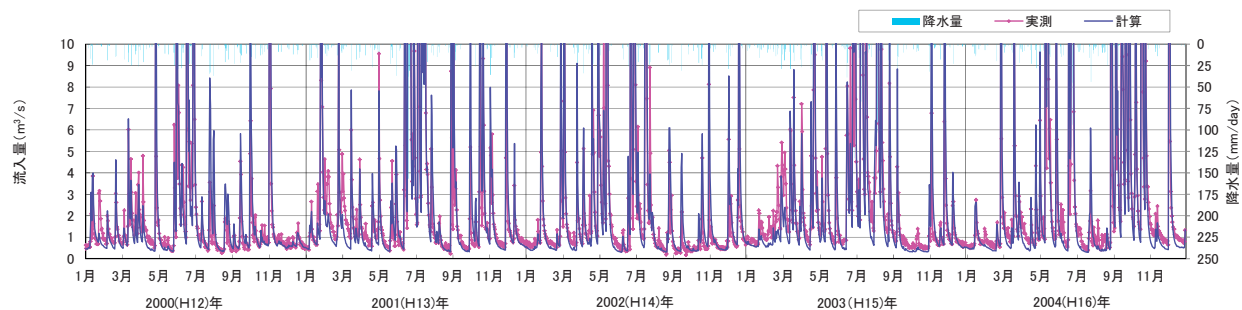
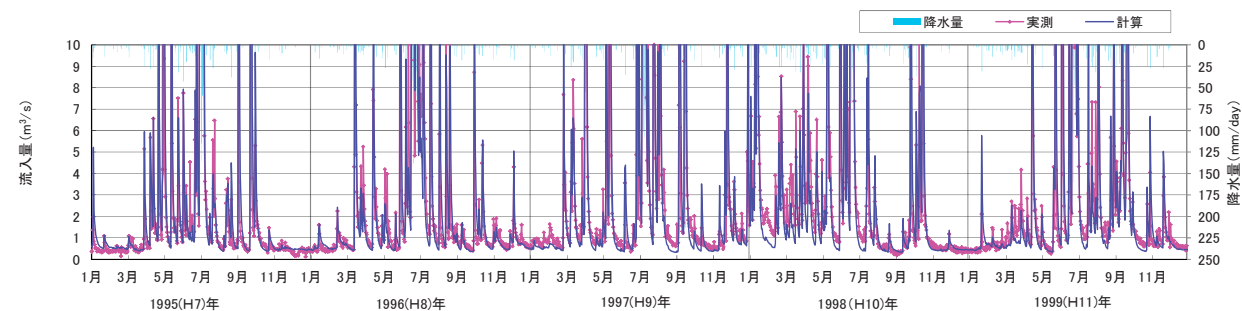
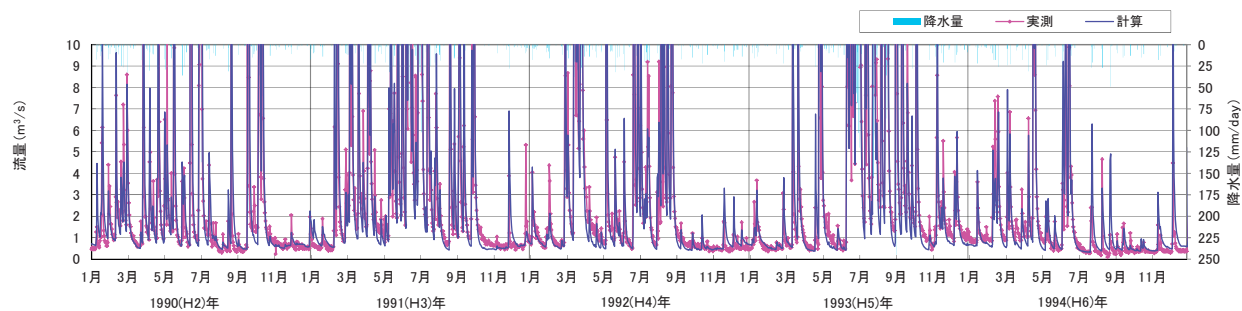
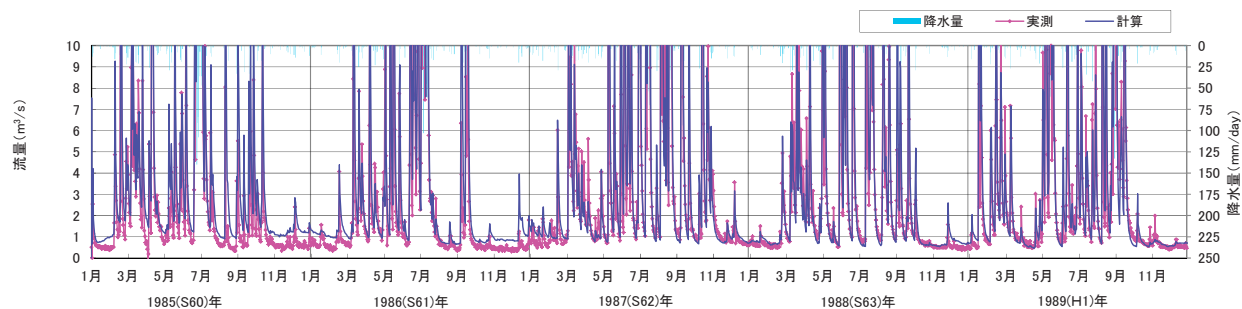


図 3-3 釜房ダム 流出モデルの再現精度



月	月平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	
	実測値	計算値
1	1.28	1.45
2	1.65	1.64
3	3.03	2.85
4	2.77	2.60
5	3.92	4.20
6	8.23	8.70
7	7.40	7.78
8	3.43	3.61
9	4.38	5.13
10	2.28	2.50
11	1.14	1.38
12	1.00	1.23

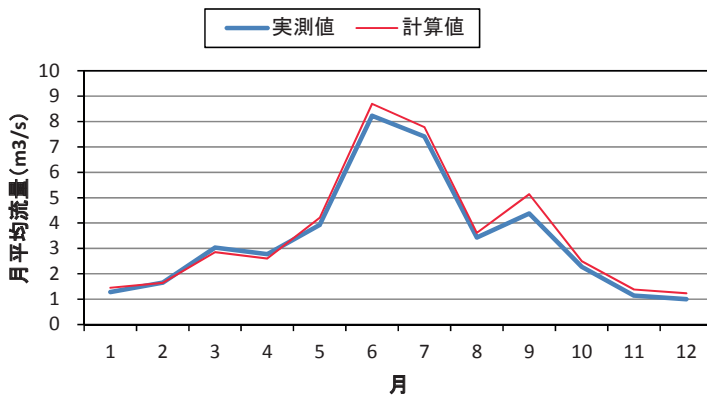
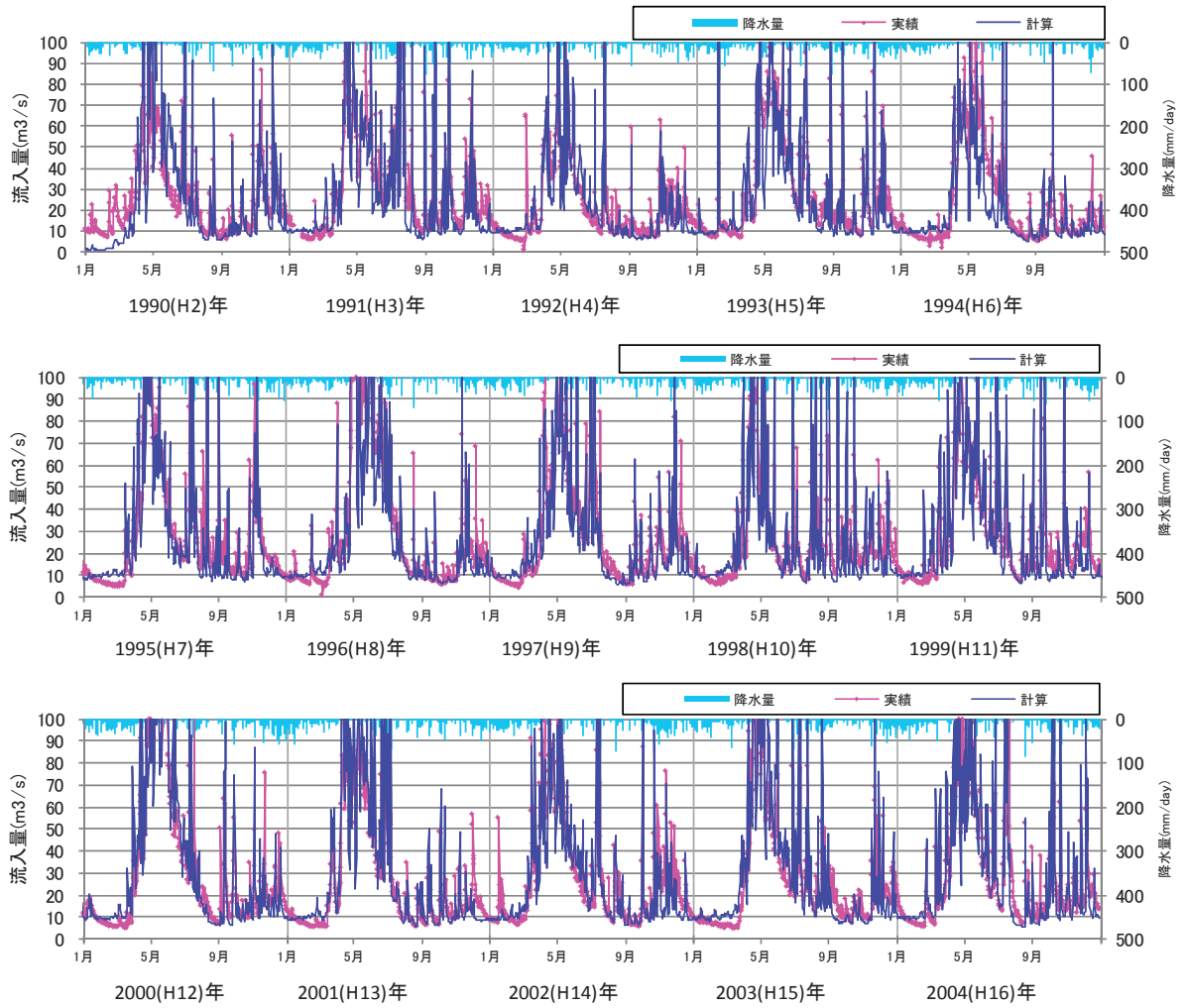


図 3-4 耶馬溪ダム 流出モデルの再現精度





月	実測値 (m <sup>3</sup> /s)	計算値 (m <sup>3</sup> /s)
1	10.66	9.43
2	8.53	11.85
3	15.90	20.83
4	61.31	64.91
5	74.49	68.40
6	38.90	41.69
7	34.36	34.04
8	17.98	17.14
9	17.04	17.49
10	18.41	18.42
11	25.30	22.72
12	21.60	15.26

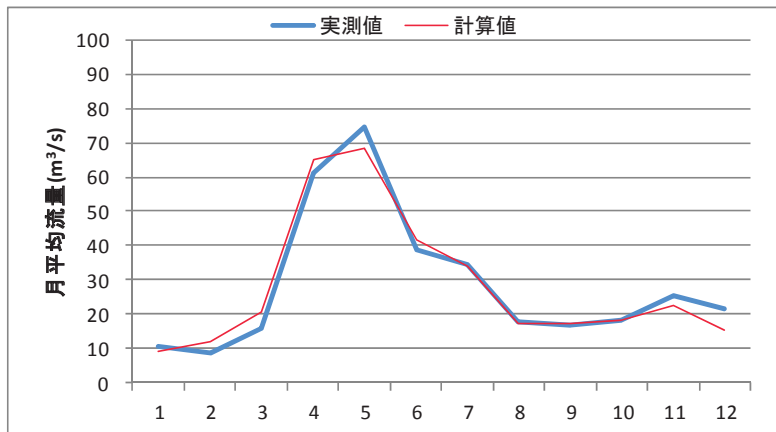
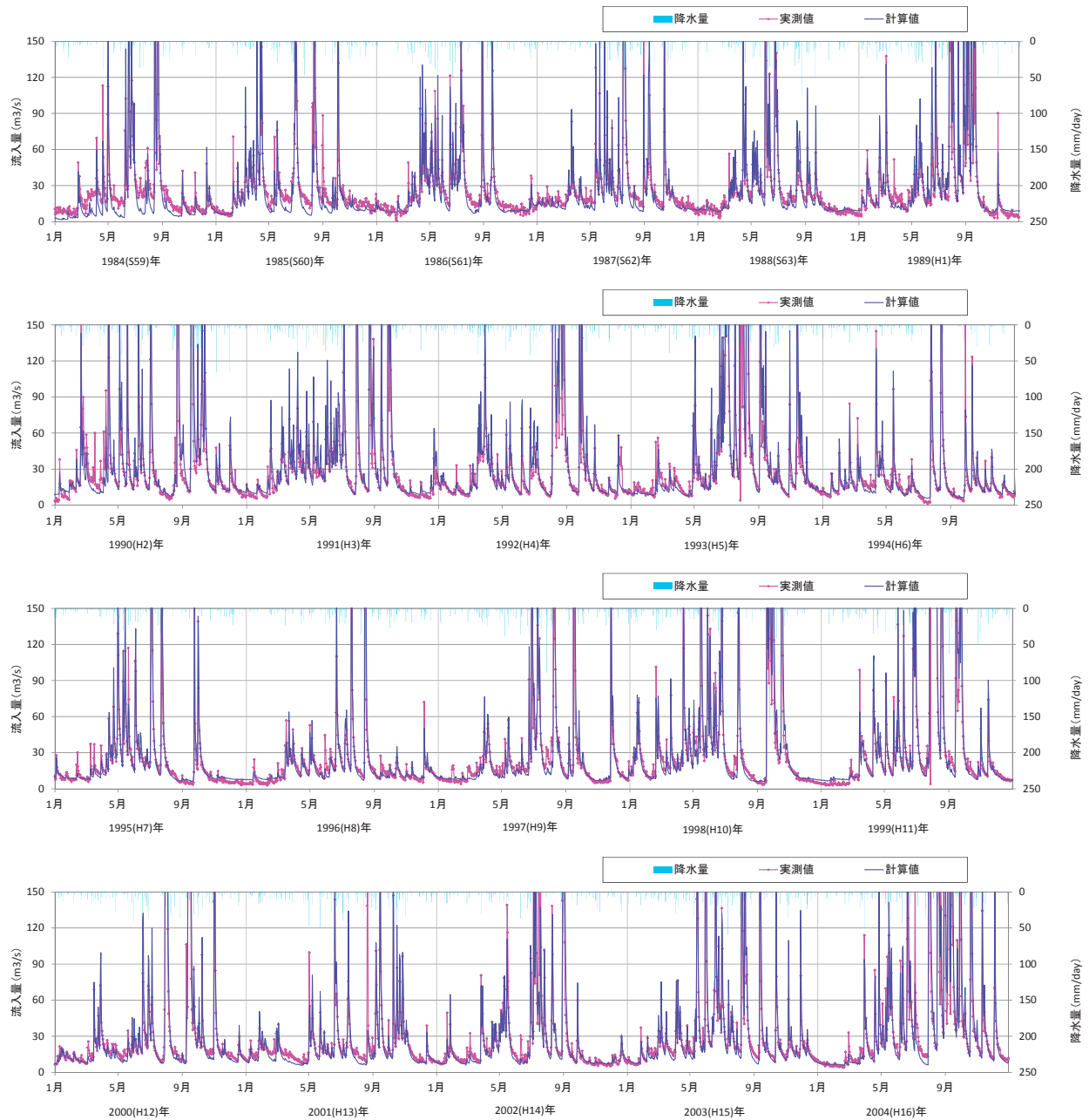


図 3-5 寒河江ダム 流出モデルの再現精度



	月平均流量 (m³/s)	
	実測値	計算値
1月	11.9	12.2
2月	14.9	14.3
3月	24.0	22.0
4月	28.9	29.0
5月	35.0	35.3
6月	43.2	45.6
7月	58.6	58.0
8月	74.5	72.2
9月	65.0	66.9
10月	28.7	31.5
11月	17.0	19.0
12月	12.8	13.3

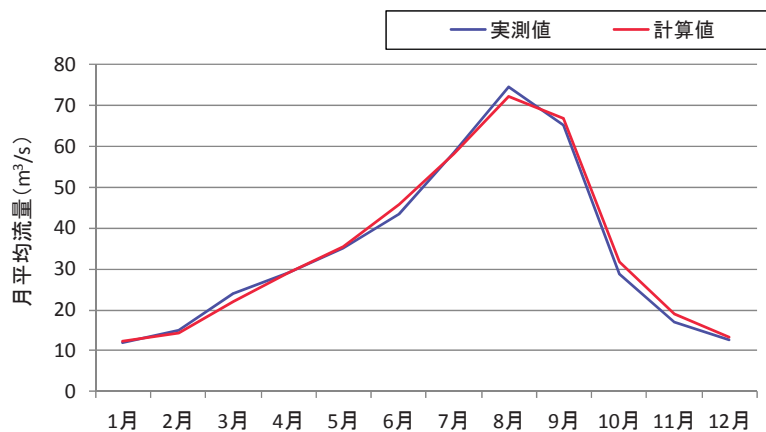


図 3-6 早明浦ダム 流出モデルの再現精度

## 3.2 利水モデル

### 3.2.1 モデル概要

利水モデルは日単位を基本とし、ダム直接取水及びダム～利水基準点上流までの取水・還元を考慮したモデルとした。図 3-7 にモデルの概念図を示す。

### 3.2.2 再現検証計算

モデルの再現検証はダム貯水位を対象として実施した。図 3-8 にモデル計算値と実績値の貯水位の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。

実績運用と計算結果にやや乖離がある箇所が見られるものの、各ダムにおける渇水状況等、概ねの流況変化を再現出来ている。

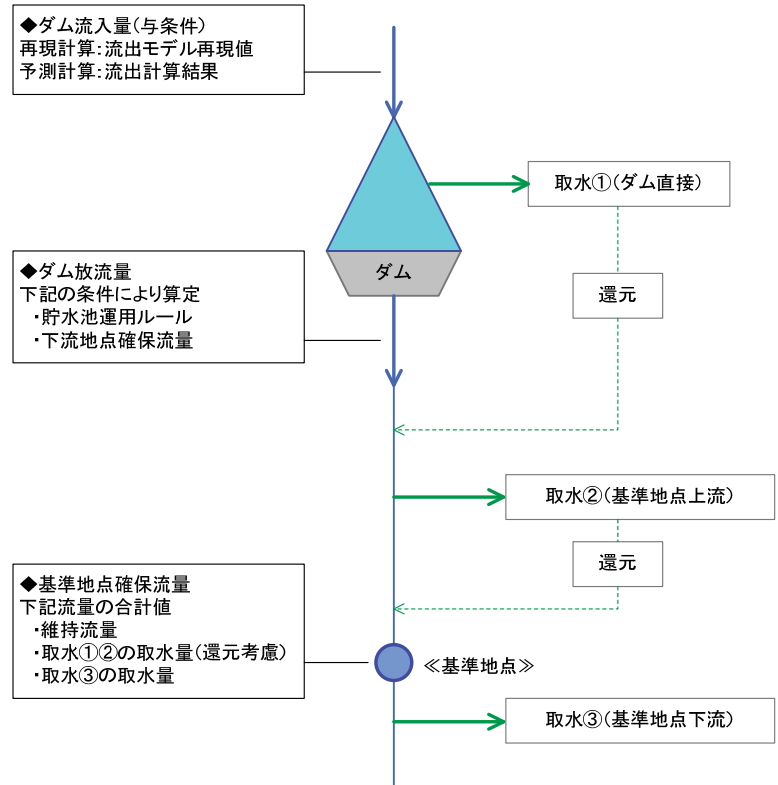


図 3-7 利水モデルの概念図

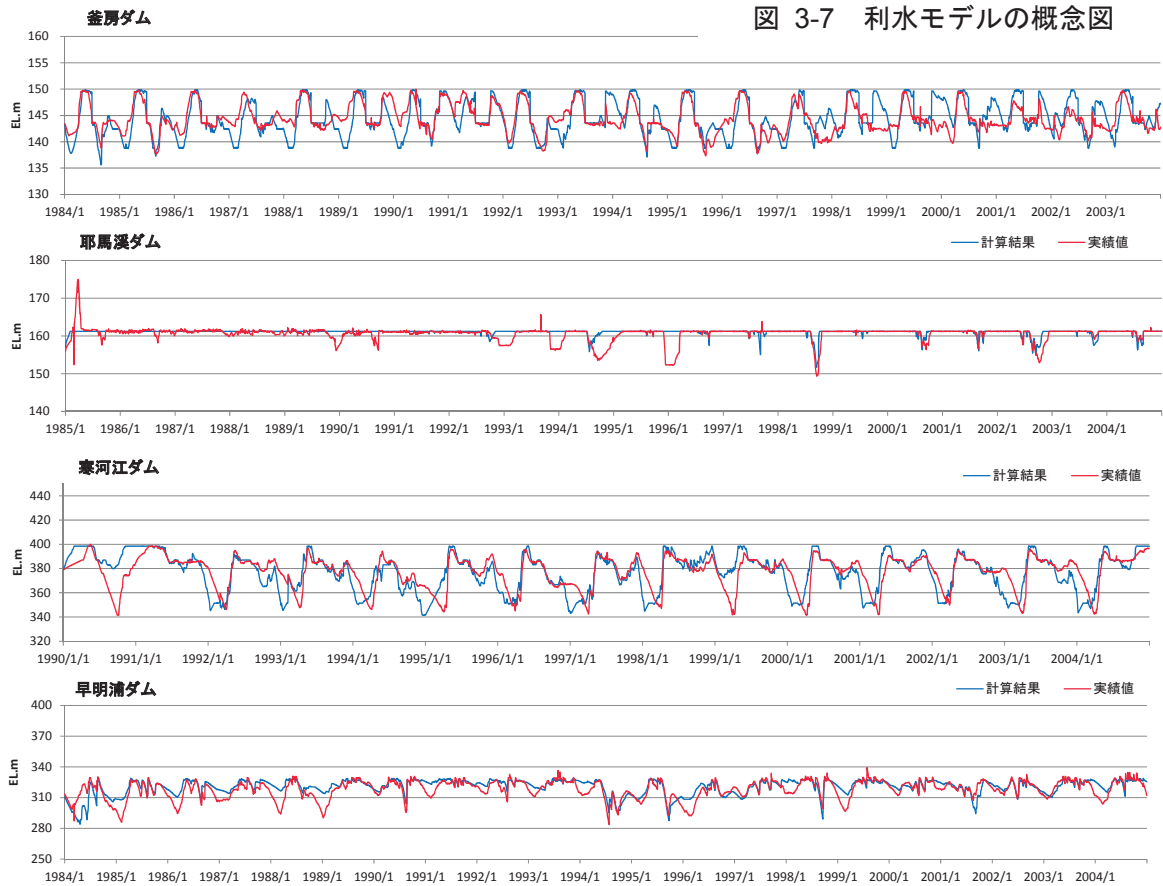


図 3-8 利水モデルによるダム貯水位の再現検証結果

### 3.3 水質解析モデル

#### 3.3.1 モデル概要

##### (1) モデル構造

本検討で適用した水質解析モデルには、国内の複数のダム貯水池において、環境影響評価や水質解析への適用実績のある鉛直二次元モデルを用いた。表 3-3に水質解析モデルの概要を示す。

表 3-3 水質解析モデルの概要

項目	設定条件
解析モデル	ダム貯水池鉛直二次元モデル
計算項目	流速, 水温, SS, COD, Chl-a, 無機態リン, 有機態リン, 無機態窒素, 有機態窒素,
乱流モデル	水平方向：リチャードソン 4/3 乗則 鉛直方向：密度成層の安定性が乱れに及ぼす影響をリチャードソン数(Ri)の関数で考慮
熱収支	短波放射(Beer 式)、長波放射(Stefan-Boltzman 式)。 潜熱輸送(Rohwer 式)、顕熱輸送(Swinbank 式)
水収支	河川流入, 放流 蒸発散によるロス：潜熱輸送量/蒸発潜熱 で算定。
底泥面での物質交換	河床直上メッシュの水温により底質境界面における生成・消滅速度が変化する式を設定。 生成：栄養塩, COD の溶出 消滅：DO 消費
曝気循環モデル	施設の散気量や貯水池成層状況に応じた連行速度、曝気循環流を物理的に計算できるダブルブルームモデル（浅枝, Imburger）

水質解析において考慮した生態系モデルは、各水質項目（ダム貯水池・放流水・取水の窒素、リン、COD、クロロフィル a、水温、SS 等）について、ダム貯水池における流入、放流、取水、蒸発散、一次生産、無機化分解、熱収支、酸素消費、沈降等のプロセスを表現可能なものとした。

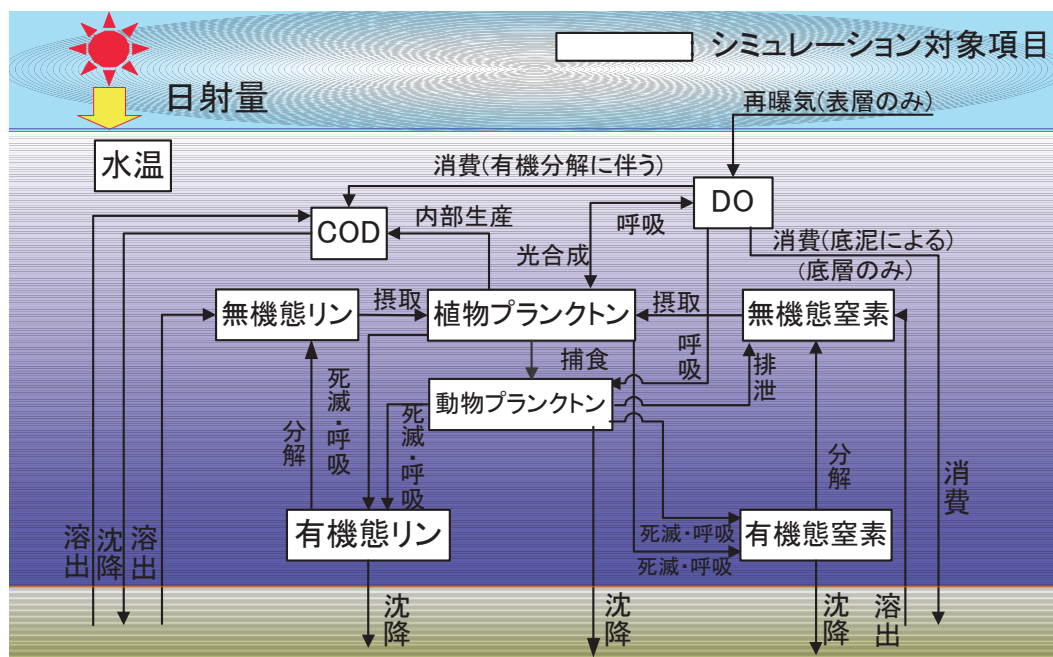


図 3-9 水質解析における生態系モデル（概念図）

## (2) 曝気循環モデル

本検討で扱う曝気循環モデルは浅枝・Imberger<sup>文献4)</sup>によるものであり、図 3-10に示すような、中央の上昇プルームの部分と周囲の下降プルームの部分による二重円筒構造をもつプルームモデル (Double Plume Model) を採用している。

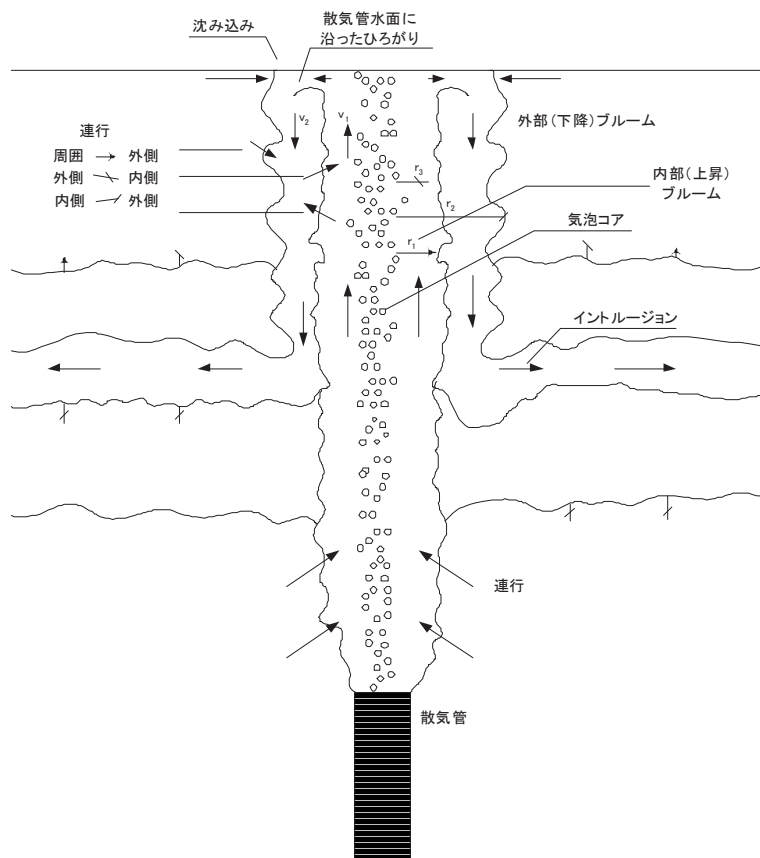


図 3-10 曝気循環による流動イメージ

## (3) モデル計算条件

水質解析モデルに設定する貯水池形状、気象条件、流量条件等を表 3-4に示す。検証計算条件は可能な範囲で実績値に基づいて設定している。

表 3-4 計算条件

項目	内容
計算期間	気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。(ただし、ダム竣工前の期間は除く)
貯水池形状	測量結果に基づき、縦断方向 200m ピッチ、水深方向 1m ピッチ程度で作成し、H-V 曲線との整合を図る。
流入量	実績の日流入量を与える。 複数の支川がある貯水池では総流入量を各支川の流域面積で配分。
放流量	実績の日放流量を放流口別を与える。
気象条件	ダム地点の観測値あるいは近傍気象観測所の観測値を与える。
流入水温	気温や日流入量との関係式により設定。
流入水質	定期および洪水時水質調査結果に基づき、L-Q 式により設定。
流入濁質の粒度分布	基本的に実績の粒度分析結果に基づき設定。
選択取水の取水位置	基本的に実績に基づいて設定。
水質保全施設の運転状況	基本的に実績に基づいて設定。

### 3.3.2 再現検証計算

モデルの再現検証として、水温及び DO の鉛直分布、各水質の時系列変化から再現性の確認を行った。

図 3-11～図 3-18にモデル計算値と実績値の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年（S59 年～H16 年）とした（ただし、ダム竣工前の期間は除く）。

水温成層の形成状況や底層 DO の消長等の季節変化、藻類増殖時の Chl-a の上昇や洪水による SS 上昇等のイベント的な水質変化など、各貯水池内で生じる水質変化現象の特性を概ね再現出来ており、本モデルを用いて、気候変動に伴う気象・流量条件の変化に伴う貯水池内の水質変化傾向を評価することは可能であると考えられる。

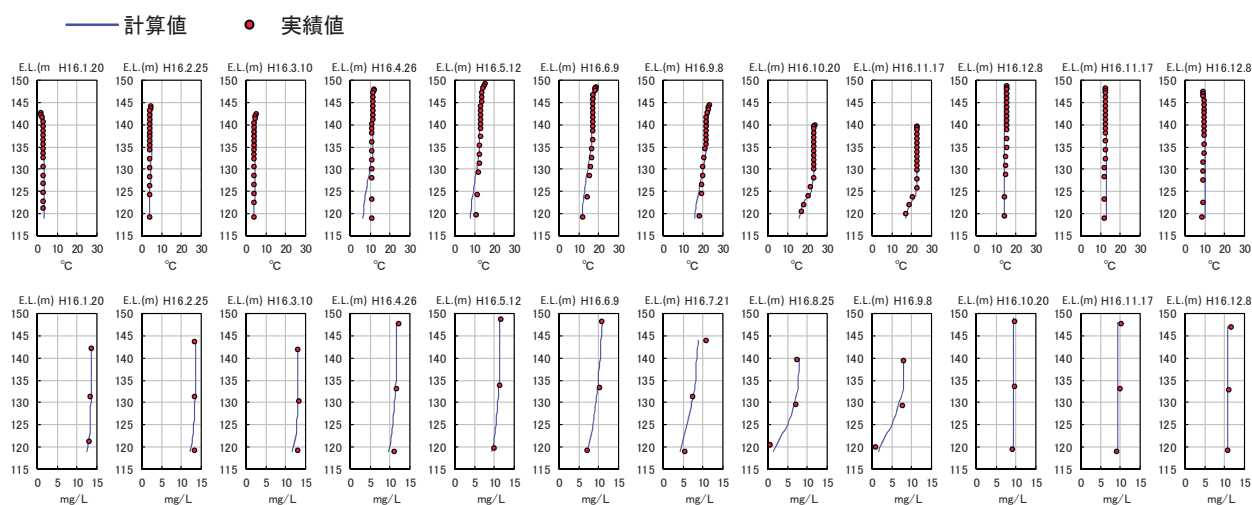


図 3-11 釜房ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

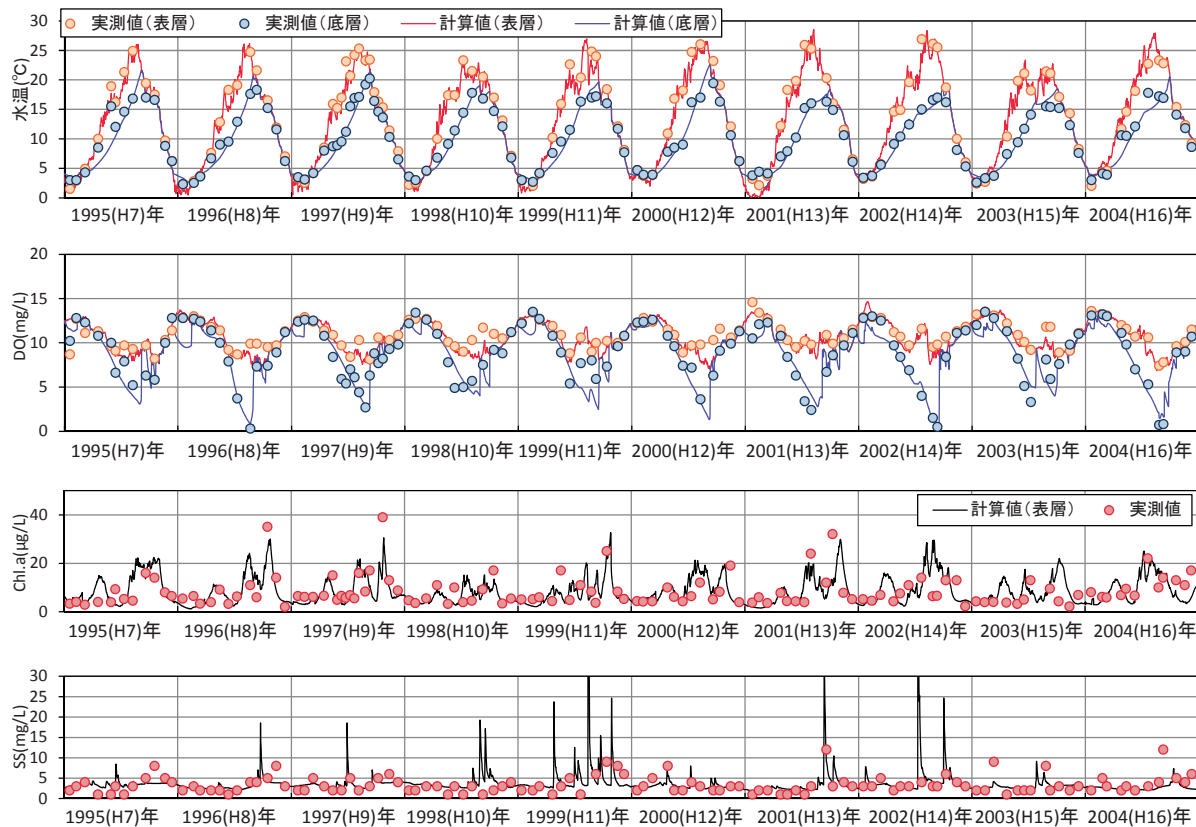


図 3-12 釜房ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

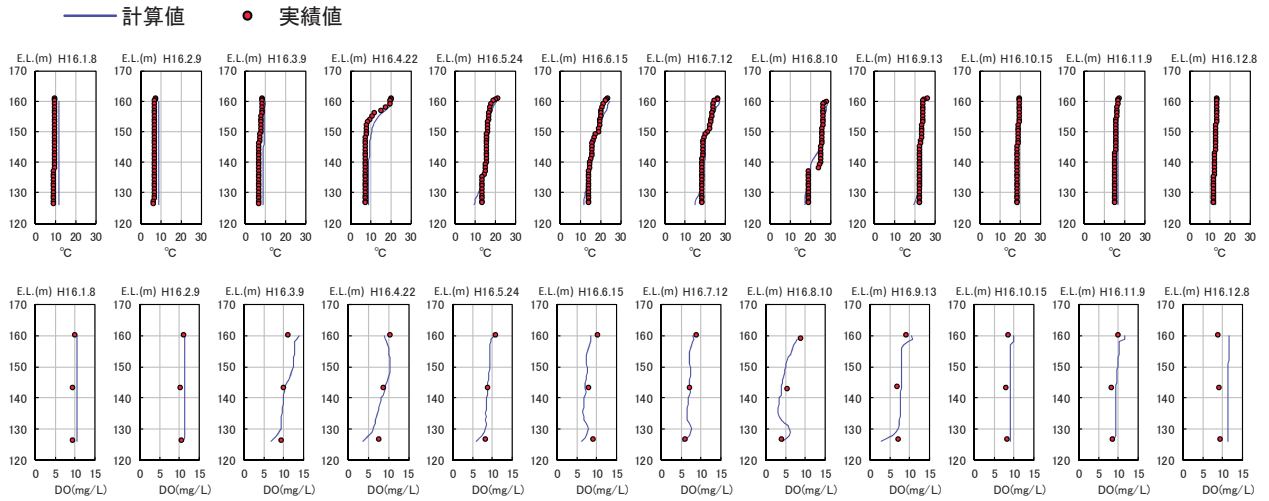


図 3-13 耶馬溪ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

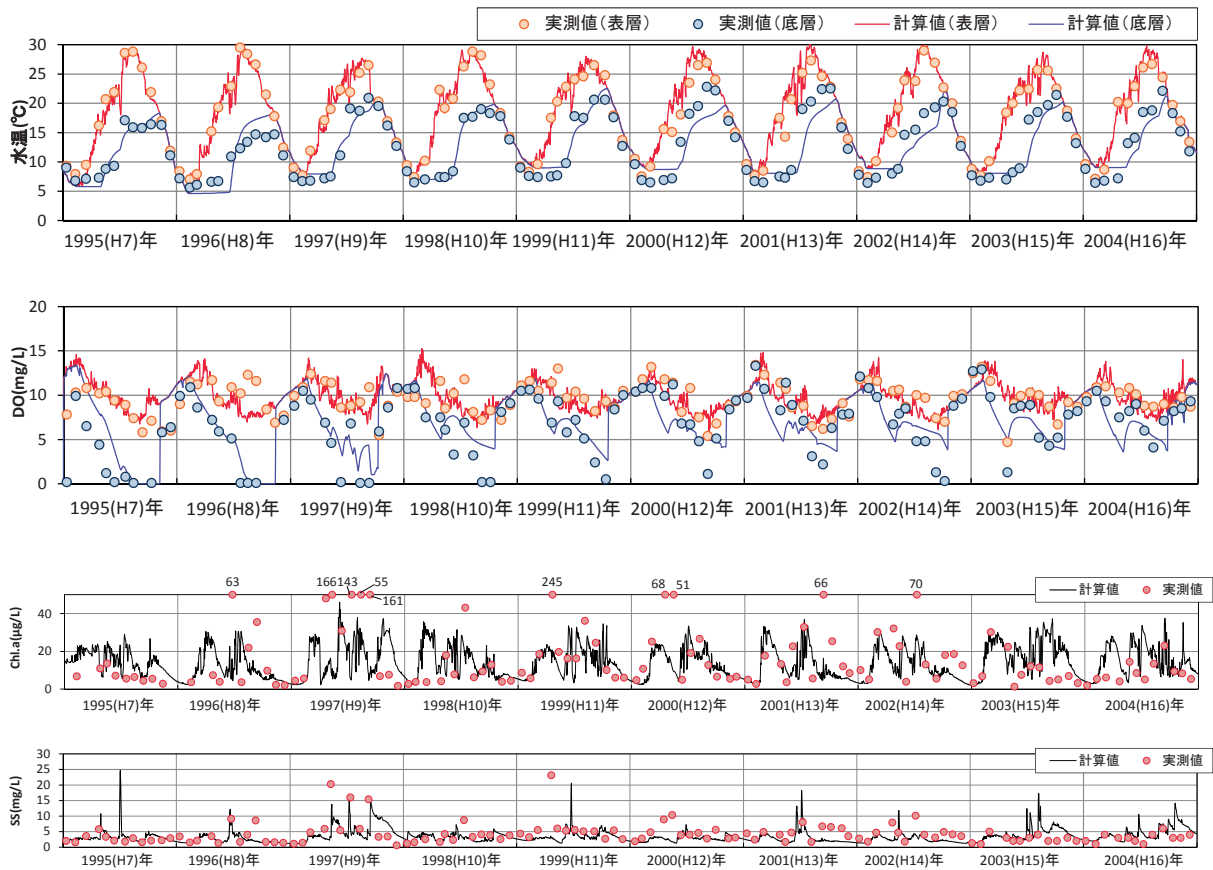


図 3-14 耶馬溪ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

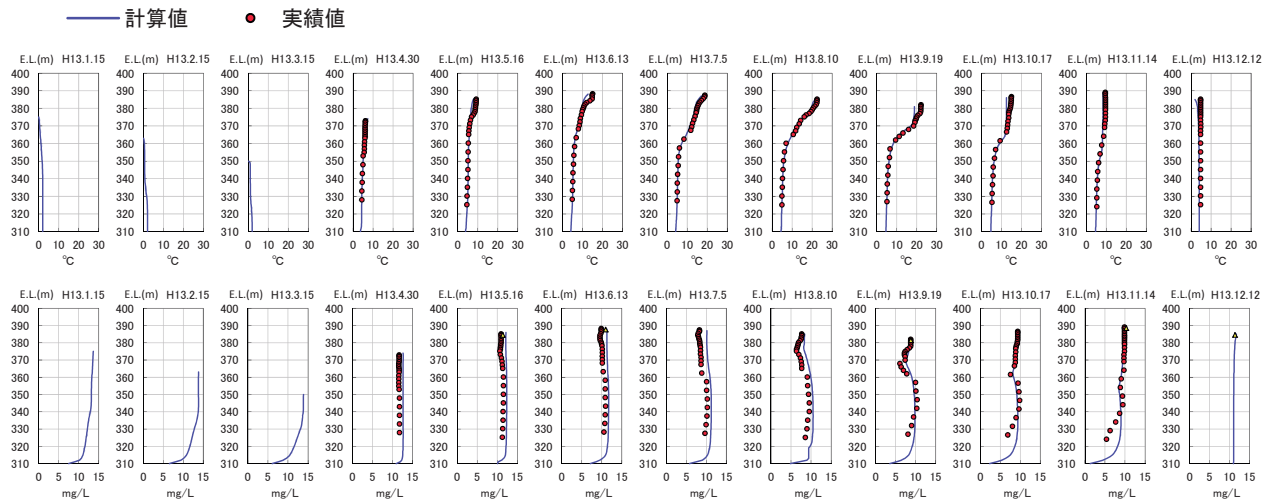


図 3-15 寒河江ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

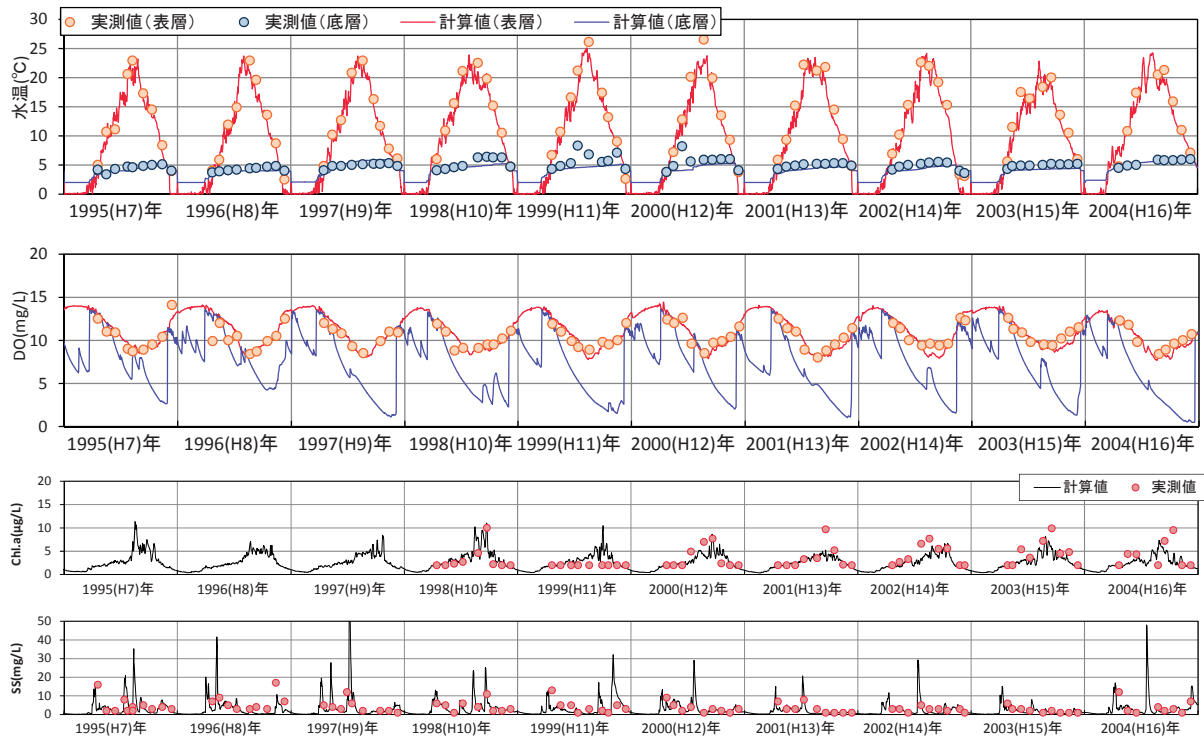


図 3-16 寒河江ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）



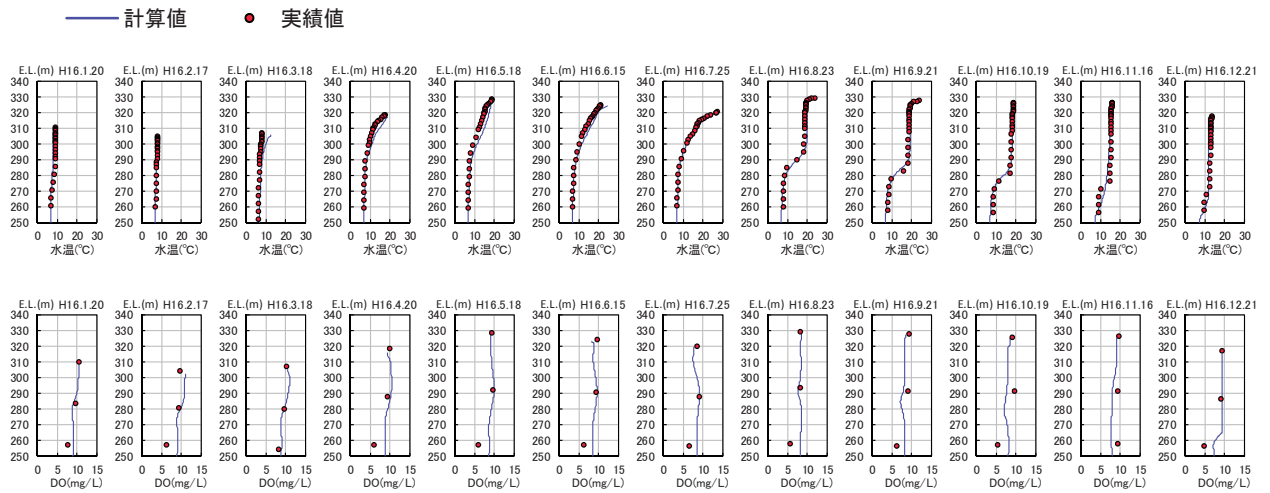


図 3-17 早明浦ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

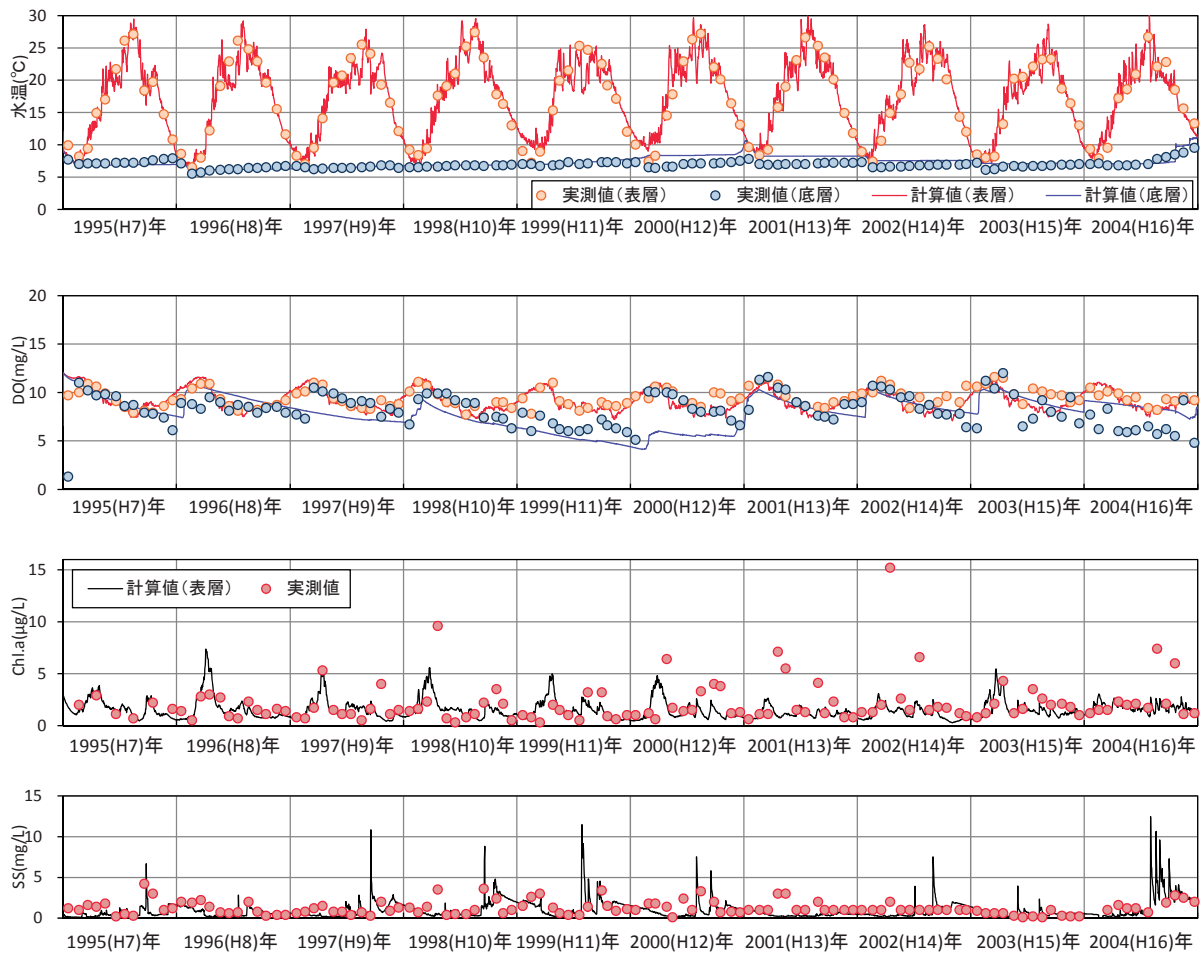


図 3-18 早明浦ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

#### 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

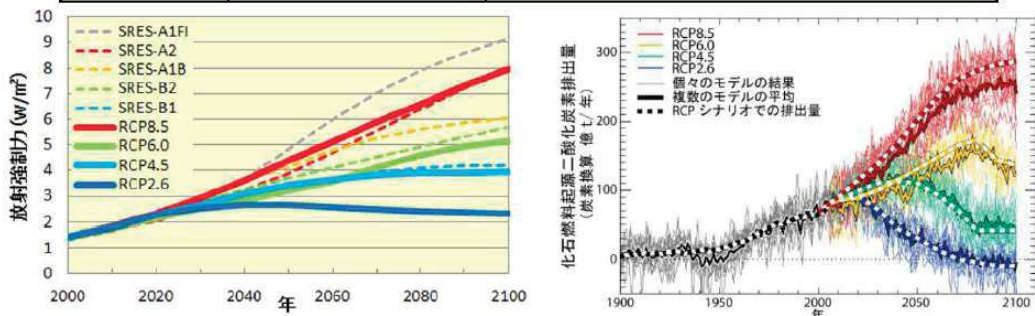
###### (1) 将来予測シナリオ

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<sup>文献2)</sup>

###### (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。

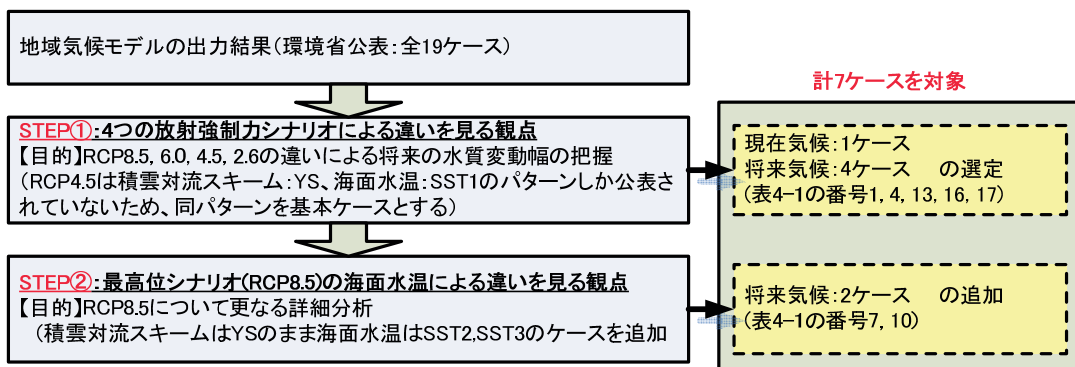


図 4-2 予測計算ケースの選定

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、観測値と差違がある。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。

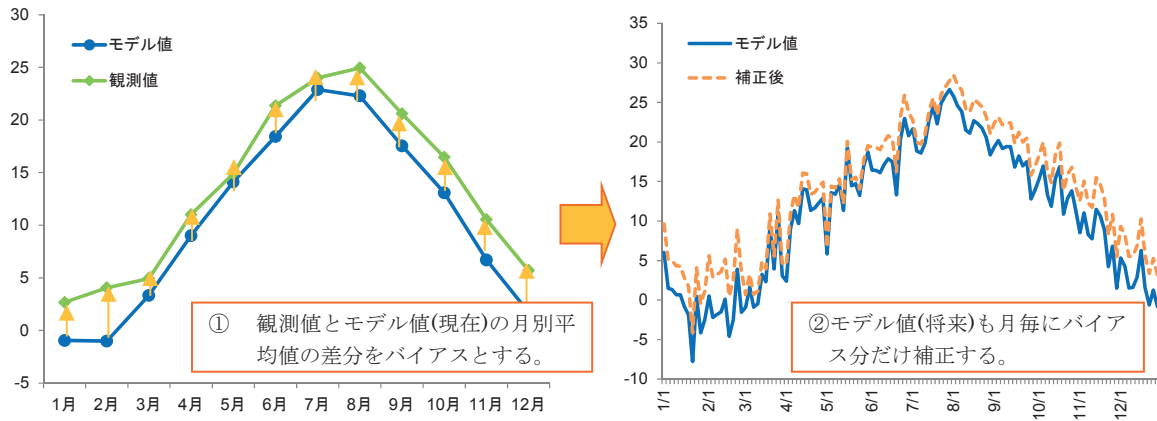
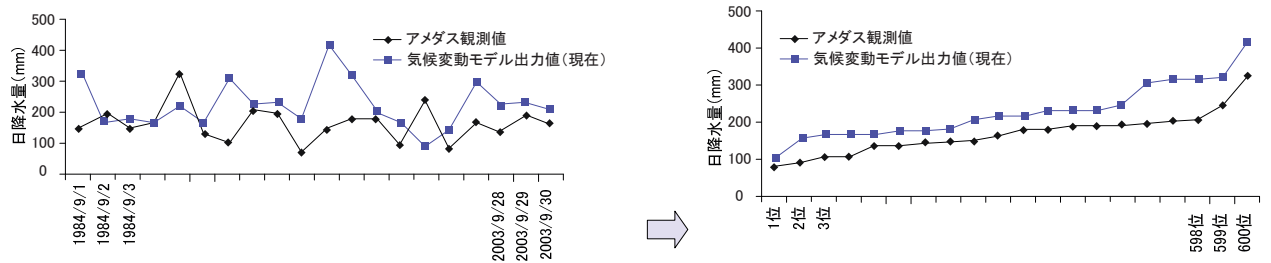


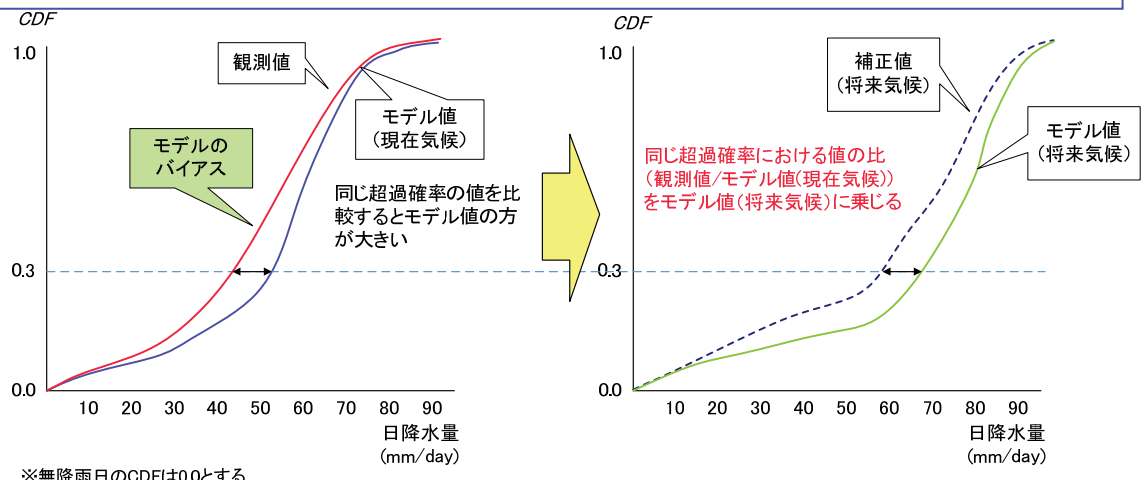
図 4-3 気温のバイアス補正方法 (差分法)

① データを昇順に並び替える (月毎に処理する。)



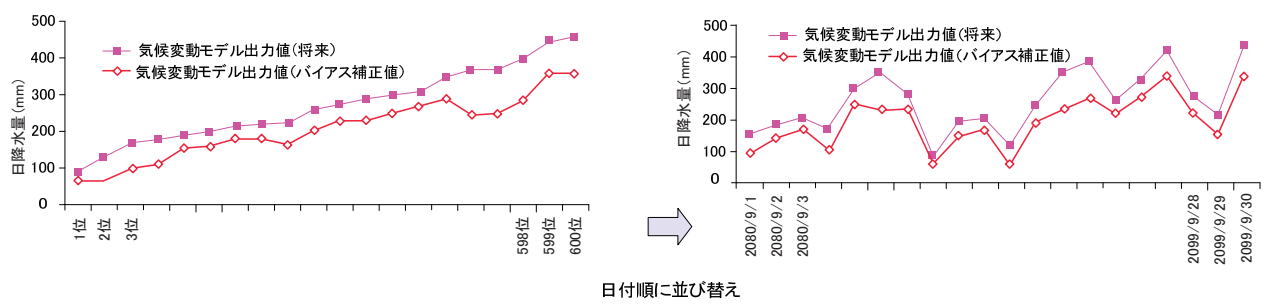
データを昇順に並び替える

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。



※無降雨日のCDFは0.0とする

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。)



日付順に並び替え

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	

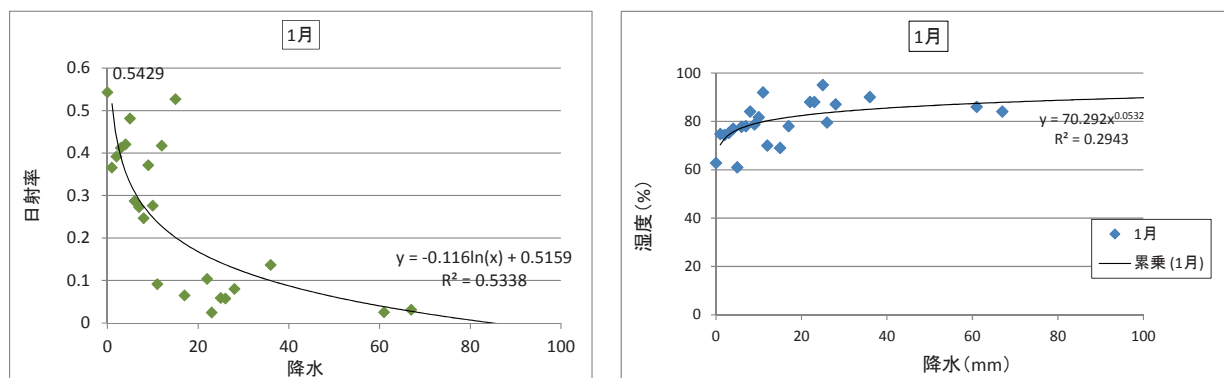


図 4-5 将来予測における気温・降水量以外の気象条件の設定方法（左：日射率、右：相対湿度）

### (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

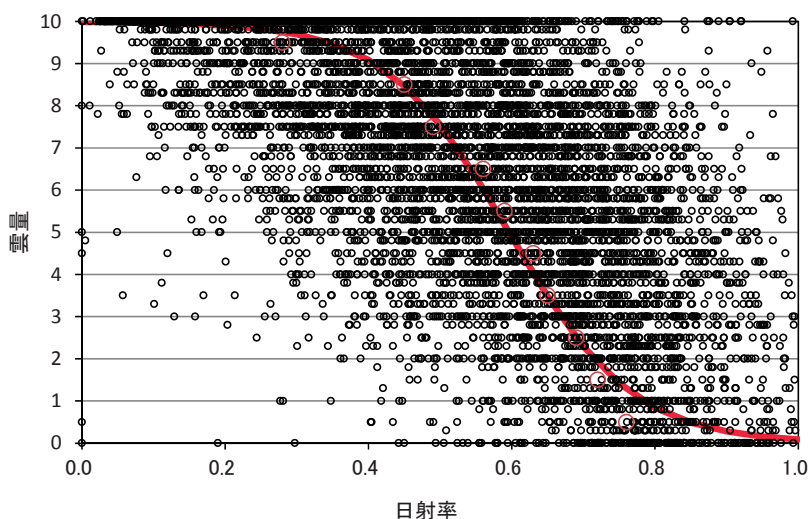


図 4-6 日射率と雲量の関係（釜房ダムの例）

### 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

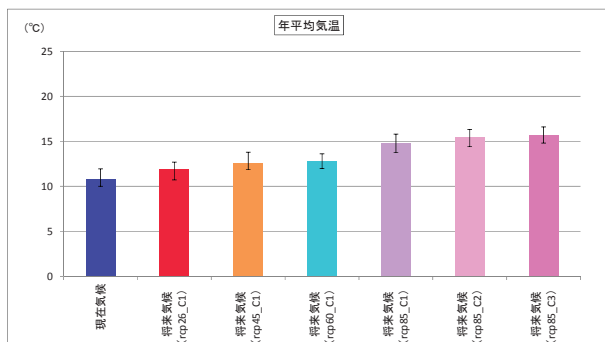
釜房ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

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"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>
	降水量 (図 4-8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>
流況	ダム流入量 (図 4-9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>

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

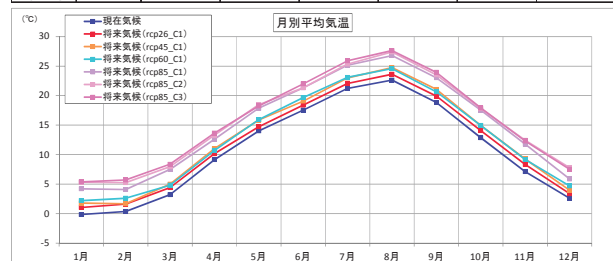
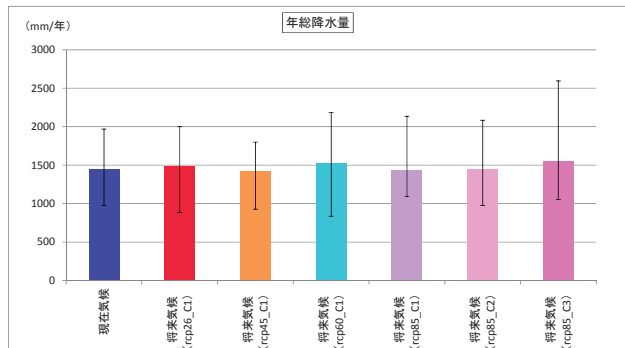


図 4-7 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

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

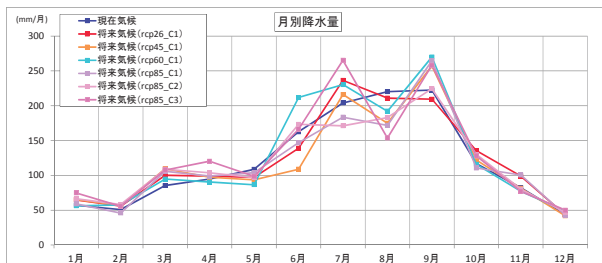
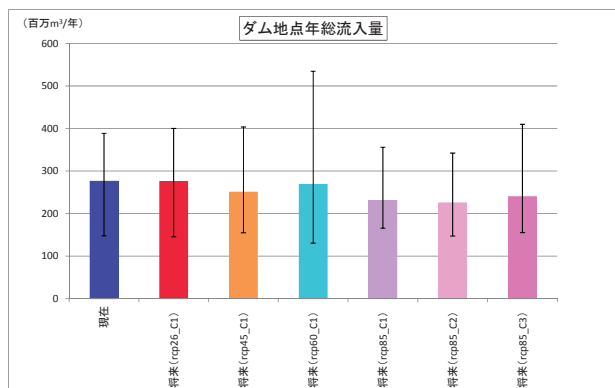


図 4-8 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: (百万m<sup>3</sup>/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: (m<sup>3</sup>/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

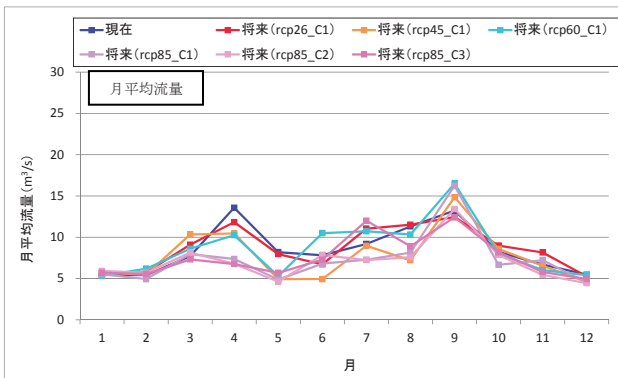


図 4-9 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)



## 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"> <li>表層 Chl-a の年平均値で 8.0<math>\mu\text{g/L}</math>(現在)と 10.3<math>\mu\text{g/L}</math>(将来:RCP8.5_C2)で最大 2.3<math>\mu\text{g/L}</math> の増加となる。年間の Chl-a<math>25\mu\text{g/L}</math>(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。</li> <li>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。</li> </ul>
底層水質悪化 (図 4-12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
濁度の上昇 (図 4-13)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>SS<math>25\text{mg/L}</math>(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。</li> </ul>
水温の上昇 (図 4-14 ～図 4-16)	<ul style="list-style-type: none"> <li>表層水温の年平均値で 11.0<math>^{\circ}\text{C}</math>(現在)から 14.9<math>^{\circ}\text{C}</math>(RCP8.5C3)で最大 3.9<math>^{\circ}\text{C}</math>の上昇となる。</li> <li>放流水温は年平均値で 11.1<math>^{\circ}\text{C}</math>(現在)から 14.8<math>^{\circ}\text{C}</math>(RCP8.5C3)で最大 3.7<math>^{\circ}\text{C}</math>の上昇となる。</li> <li>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。</li> <li>温水放流温度<sup>1)</sup>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<math>^{\circ}\text{C}</math>程度の上昇幅となる。</li> </ul>
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"> <li>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。</li> </ul> <p>≪水質の変化が小さいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>

1)温水放流時における放流水温と流入水温の差

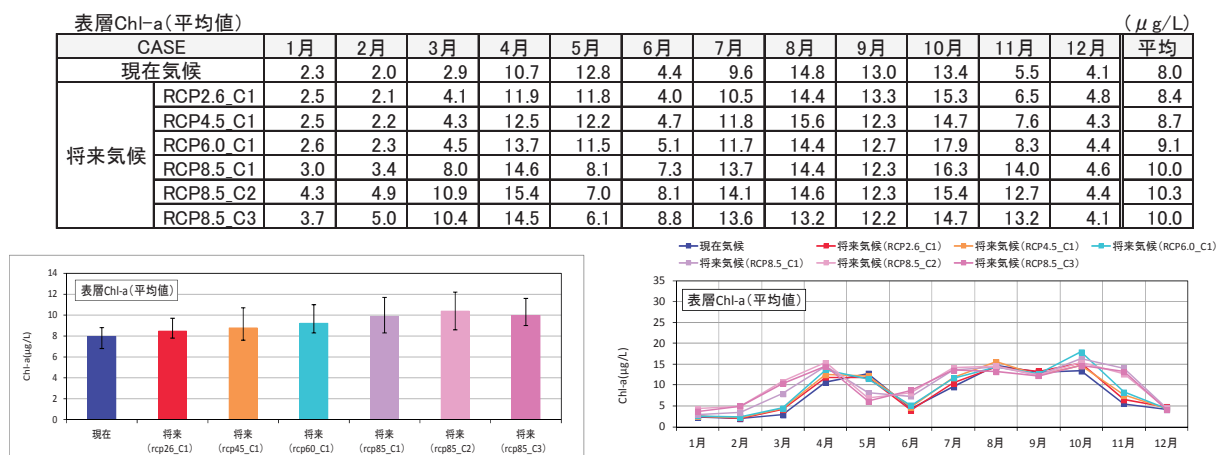


図 4-10 ケース毎の表層 Chl-a (左下: 年平均値、右下: 月平均値)

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

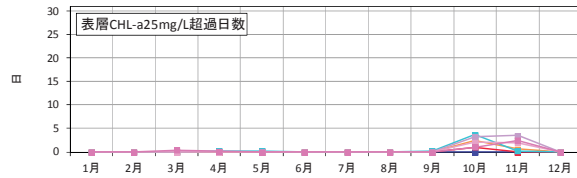


図 4-11 ケース毎の表層 Chl-a が 25  $\mu\text{g/L}$  を超過する日数

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

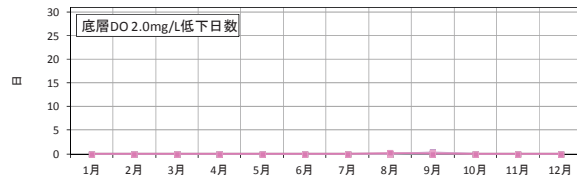


図 4-12 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

表層SS(平均値)

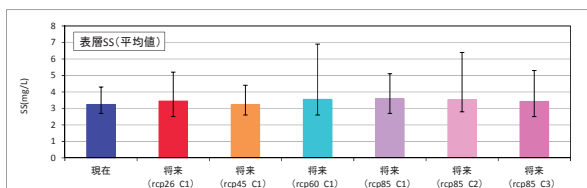
(mg/L)

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	3.4
	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	3.2
	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	3.6
	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	3.6
	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	3.5
	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	3.4

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)

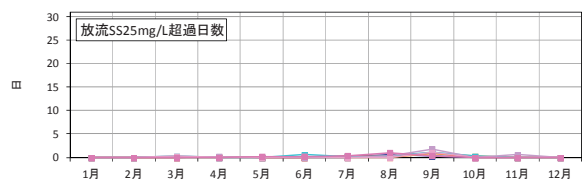


図 4-13 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

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	

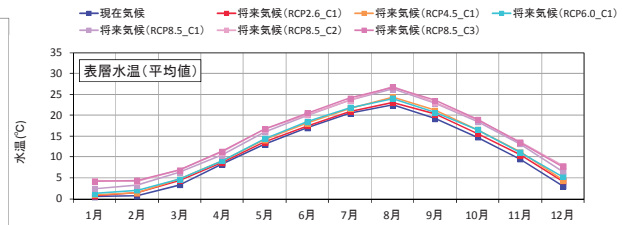
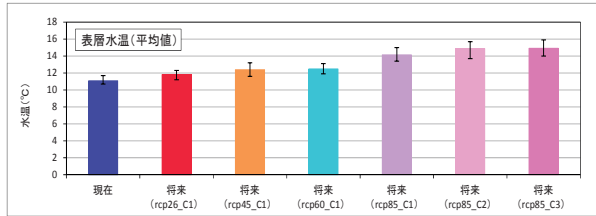


図 4-14 ケース毎の表層水温

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	

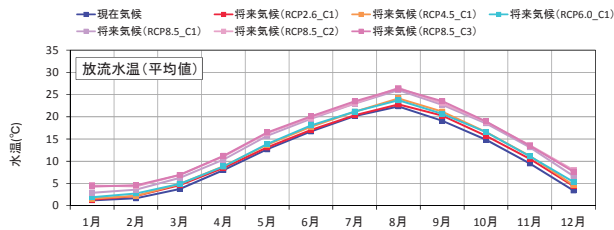


図 4-15 ケース毎の放流水温

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

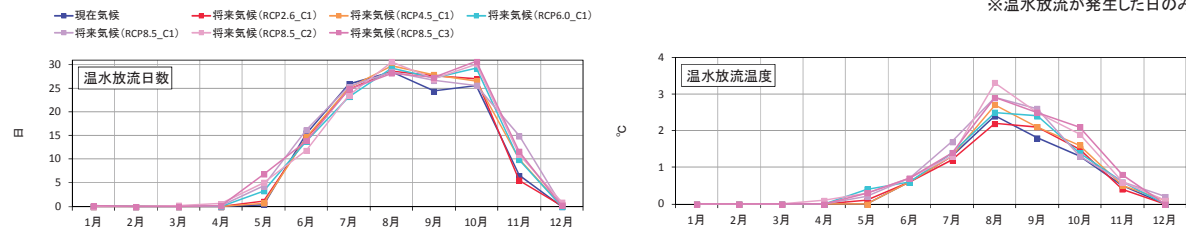


図 4-16 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)

## (2) 耶馬溪ダム

### 1) 気象条件、流況の変化

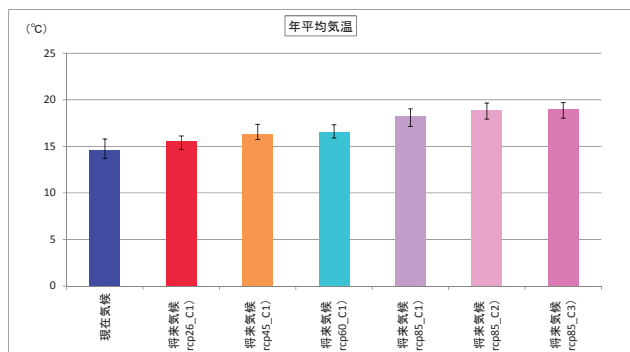
耶馬溪ダムにおける気候変動による気象条件、流況の変化について以下に示す。

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"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 月別では概ね年間一律で気温上昇が確認される。</li> </ul>
	降水量 (図 4-18)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>
流況	ダム流入量 (図 4-19)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>

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

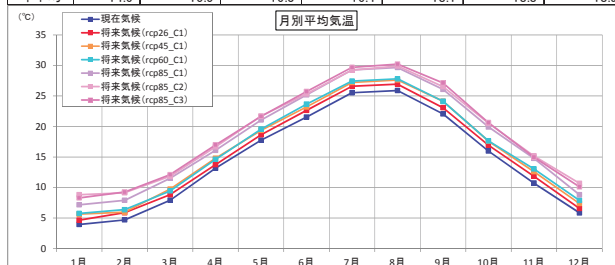
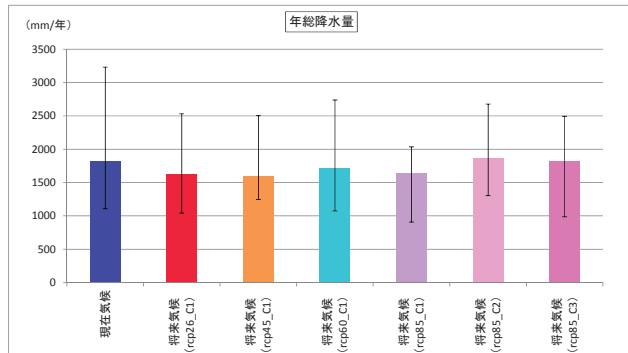


図 4-17 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

	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



	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

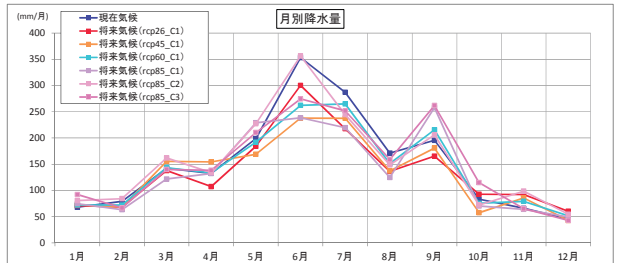
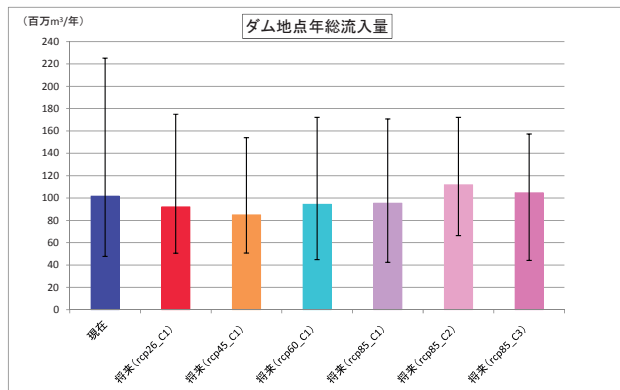


図 4-18 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

	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



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

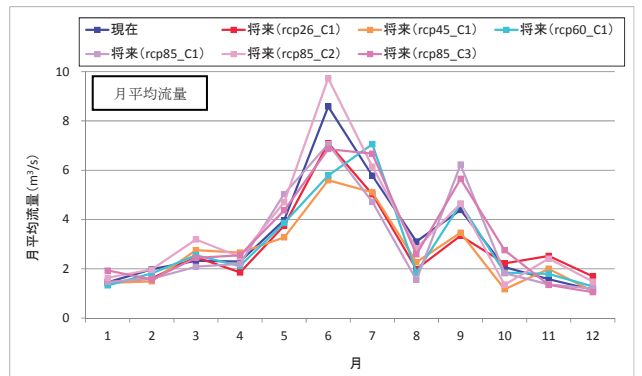


図 4-19 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

## 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"> <li>表層 Chl-a の年平均値 12.5<math>\mu\text{g/L}</math>(現在)が将来気候 (RCP2.6C1 以外の 5 ケース) で 0.2～1.4<math>\mu\text{g/L}</math> 低下する。</li> <li>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。</li> </ul>
底層水質悪化 (図 4-22)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
濁度の上昇 (図 4-23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
水温の上昇 (図 4-24 ～図 4-27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>表層水温の年平均値で、18.2<math>^{\circ}\text{C}</math> (現在)、21.8<math>^{\circ}\text{C}</math> (将来 RCP8.5C3) で最大 3.6<math>^{\circ}\text{C}</math> の上昇となる。</li> <li>放流水温は年平均値で 17.2<math>^{\circ}\text{C}</math> (現在) から 20.3<math>^{\circ}\text{C}</math> (将来 RCP8.5C3) で最大 3.1<math>^{\circ}\text{C}</math> の上昇となる。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
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"> <li>底層での貧酸素化が助長される。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> <p>≪水質の変化が小さいと思われる現象≫</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>

※)放流目標水温に従って取水深を決定する運用

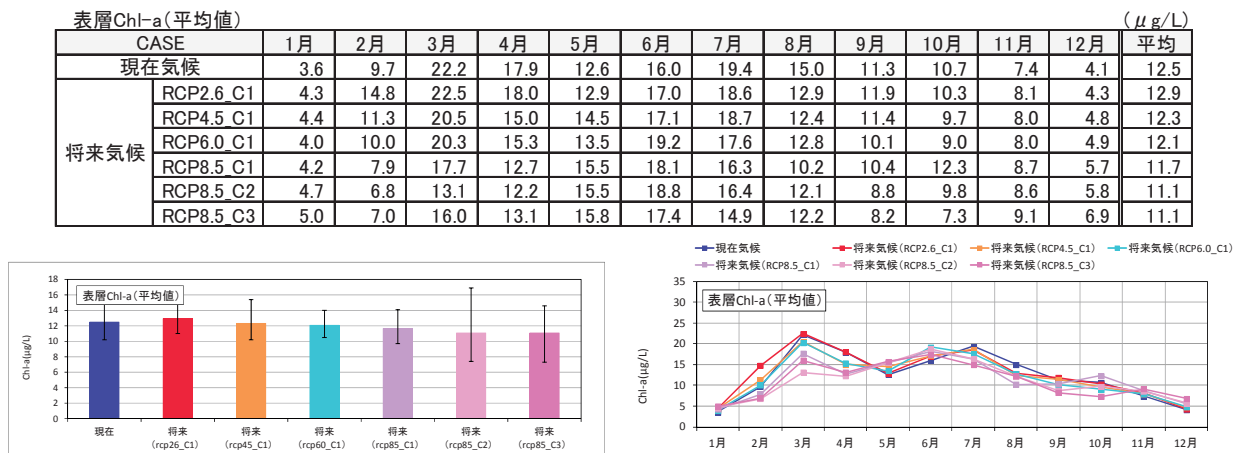


図 4-20 ケース毎の表層 Chl-a (左下 : 年平均値、右下 : 月平均値)

表層CHL-a25 $\mu$ 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	

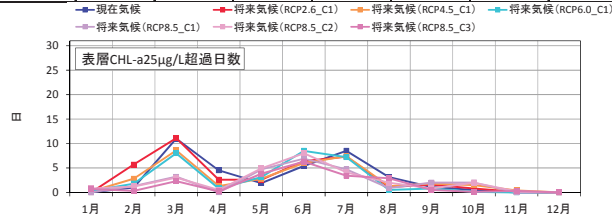


図 4-21 ケース毎の表層 Chl-a が 25 $\mu$ g/L を超過する日数

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	

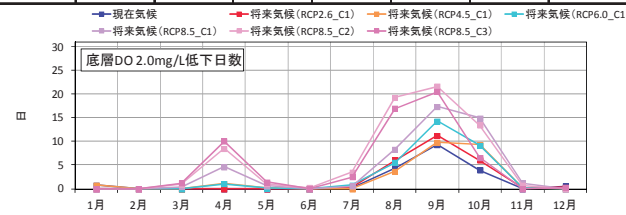


図 4-22 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

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	

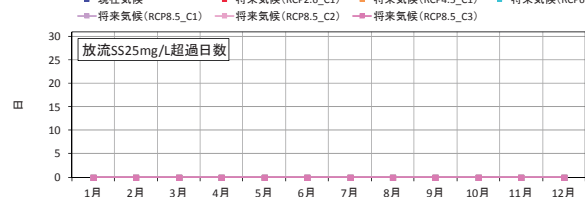
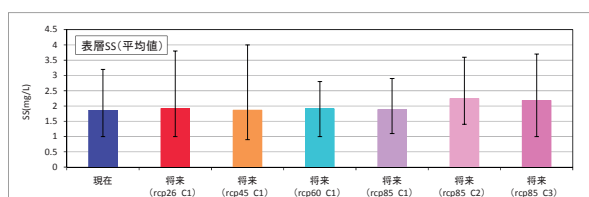


図 4-23 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)



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	

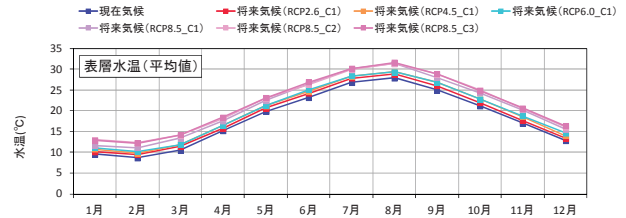
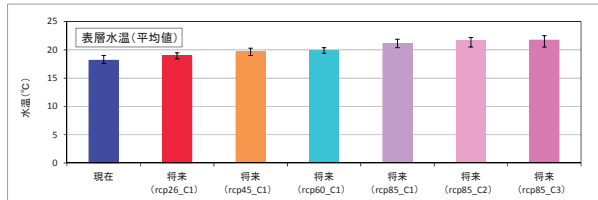


図 4-24 ケース毎の表層水温

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	

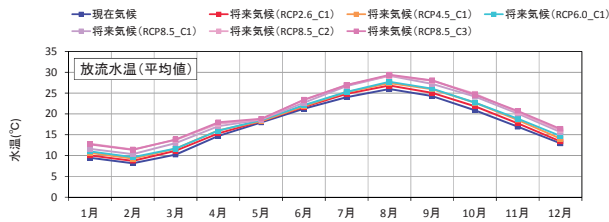


図 4-25 ケース毎の放流水温

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

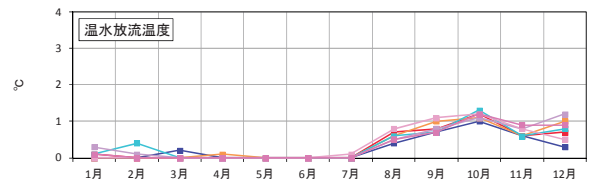
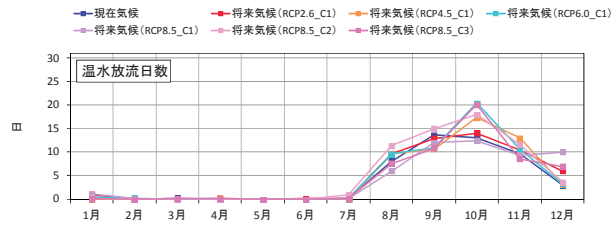


図 4-26 ケース毎の温水放流日数 (左) と温水放流時の超過水温 (右)

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

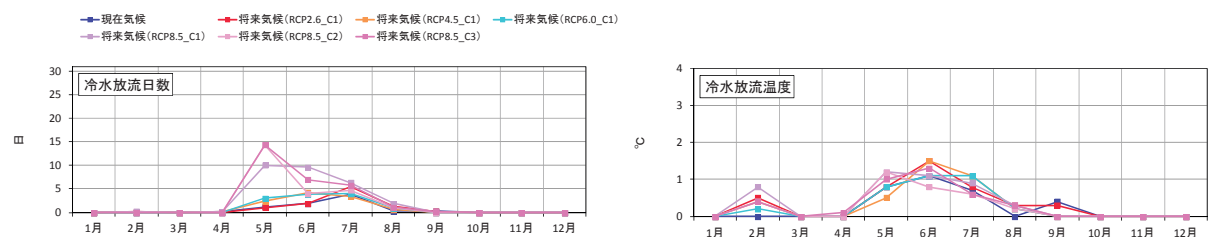


図 4-27 ケース毎の冷水放流日数 (左) と冷水放流時の超過水温 (右)

### (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"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 月別では、概ね年間一律で気温上昇が確認される。</li> </ul>
	降水量 (図 4-29)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>
流況	ダム流入量 (図 4-30)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。)</li> <li>▶ 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。</li> </ul>

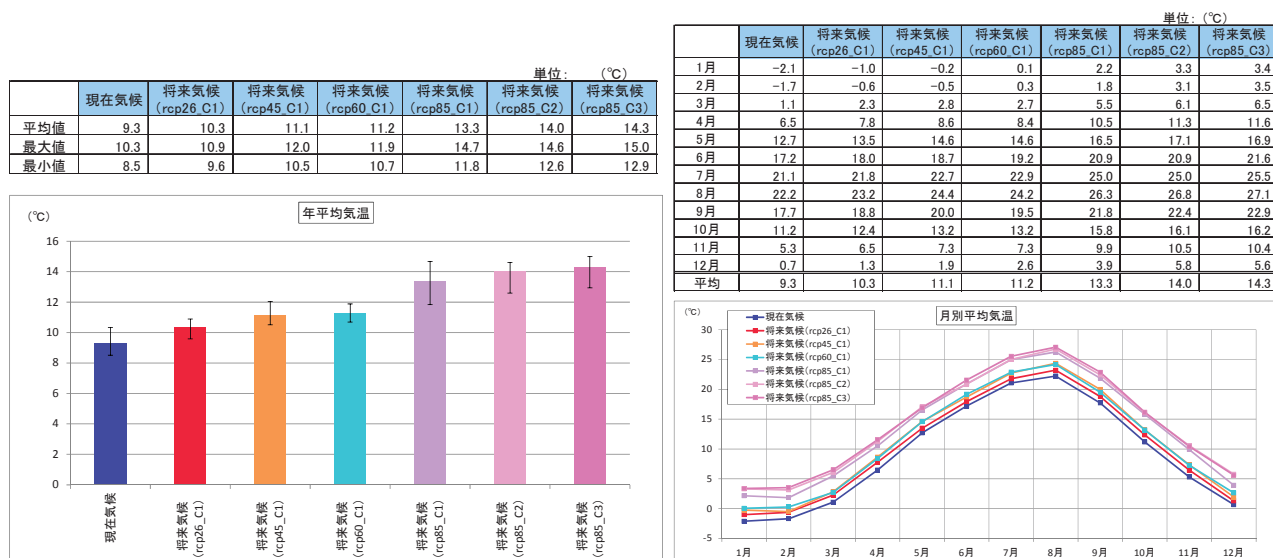
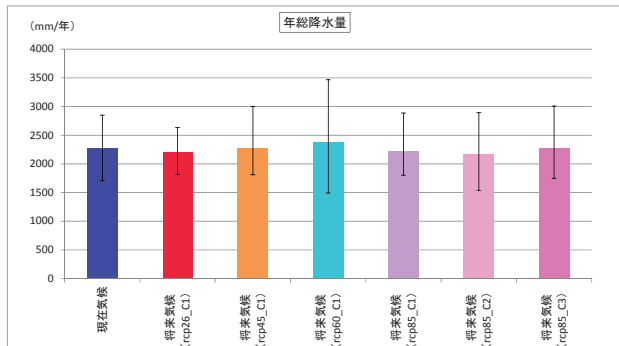


図 4-28 ケース毎の気温の比較 (左: 年平均気温、右: 月別平均気温)

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

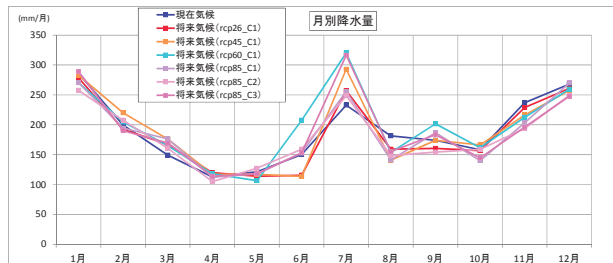
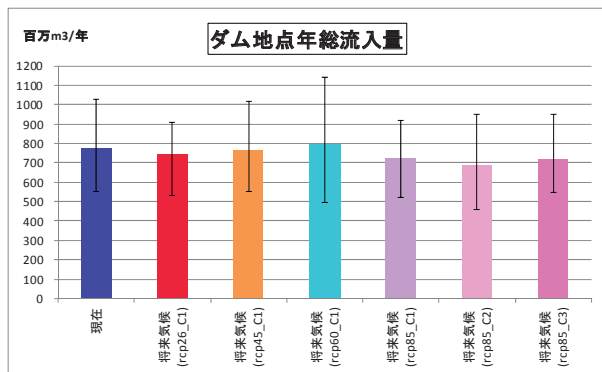


図 4-29 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: 百万m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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

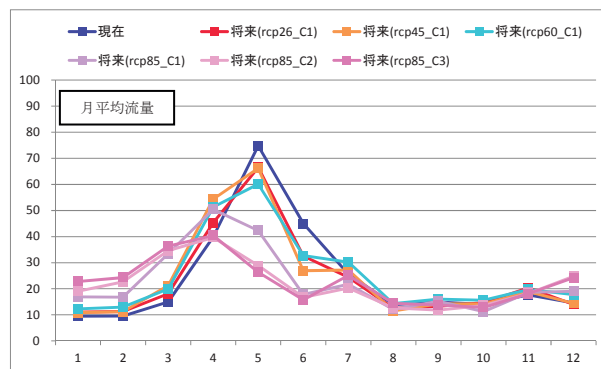


図 4-30 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

## 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 $\mu$ 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 $^{\circ}$ C (現在)、12.9 $^{\circ}$ C (将来 RCP8.5C3) で最大 3.8 $^{\circ}$ C の上昇となる。 ▶ 放流水温は年平均値で 8.5 $^{\circ}$ C (現在) から 11.6 $^{\circ}$ C (将来 RCP8.5C3) で最大 3.1 $^{\circ}$ 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"> <li>○出水後の濁度が上昇する。</li> <li>○底層での貧酸素化が助長される。</li> </ul> <p>◀水質の変化が小さいと思われる現象▶</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> </ul>

表層Chl-a(平均値)

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	

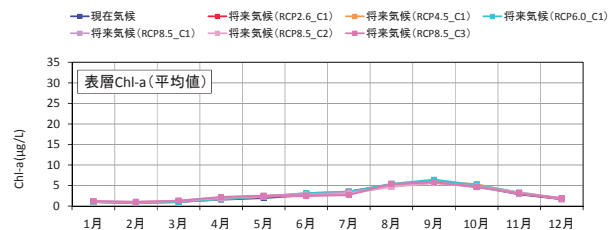
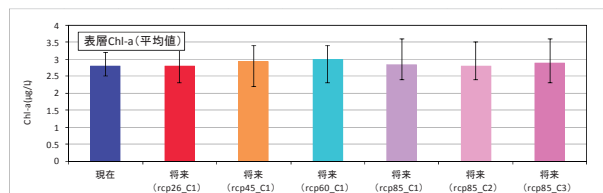


図 4-31 ケース毎の表層 Chl-a (左下：年平均値、右下：月平均値)

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	

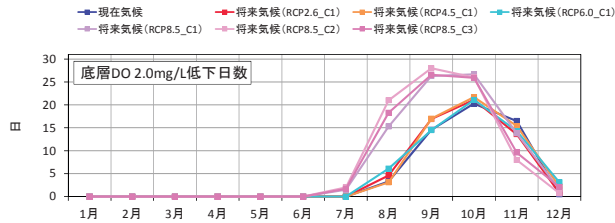


図 4-32 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

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	

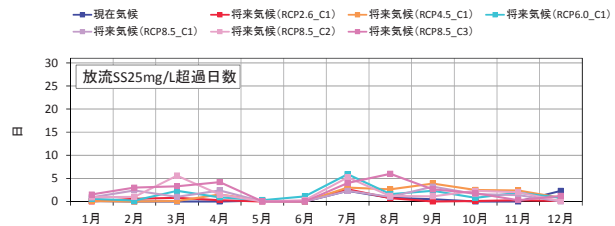
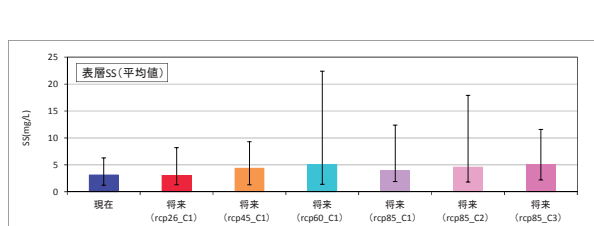


図 4-33 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

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	

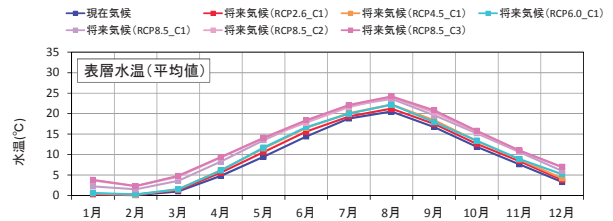
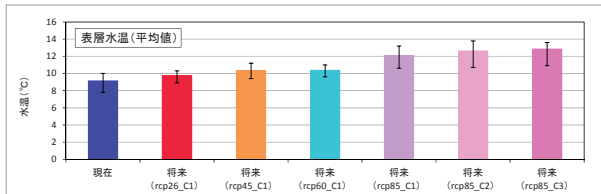


図 4-34 ケース毎の表層水温

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	

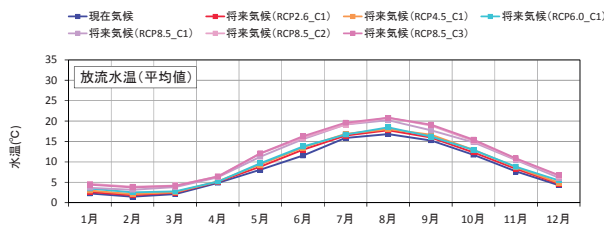


図 4-35 ケース毎の放流水温



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

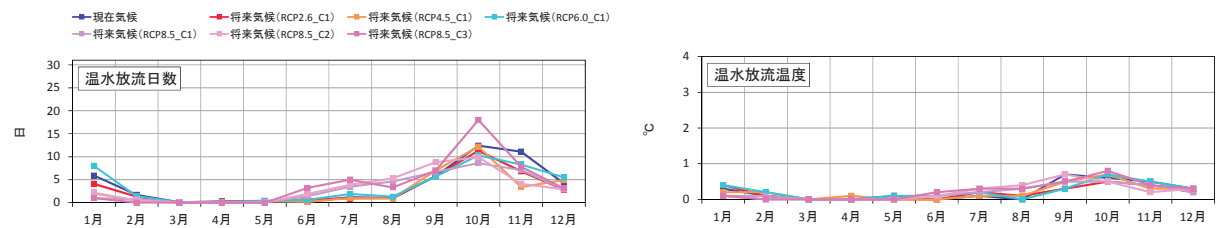


図 4-36 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)

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	

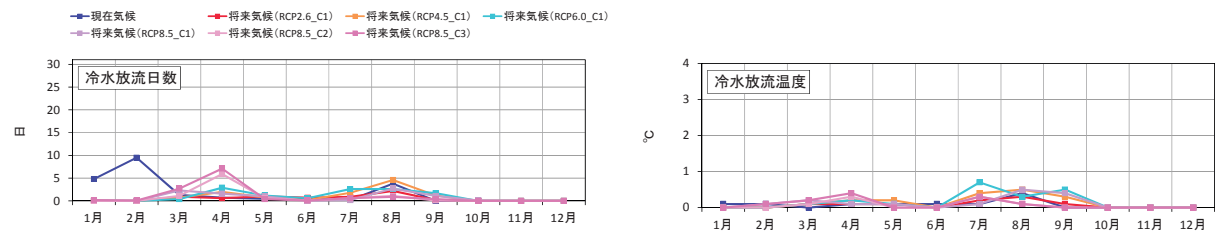


図 4-37 ケース毎の冷水放流日数（左）と冷水放流時の超過水温（右）

#### (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"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 月別では、概ね年間一律で気温上昇が確認される。</li> </ul>
	降水量 (図 4-39)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>
流況	ダム流入量 (図 4-40)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 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。</li> <li>▶ 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。</li> </ul>

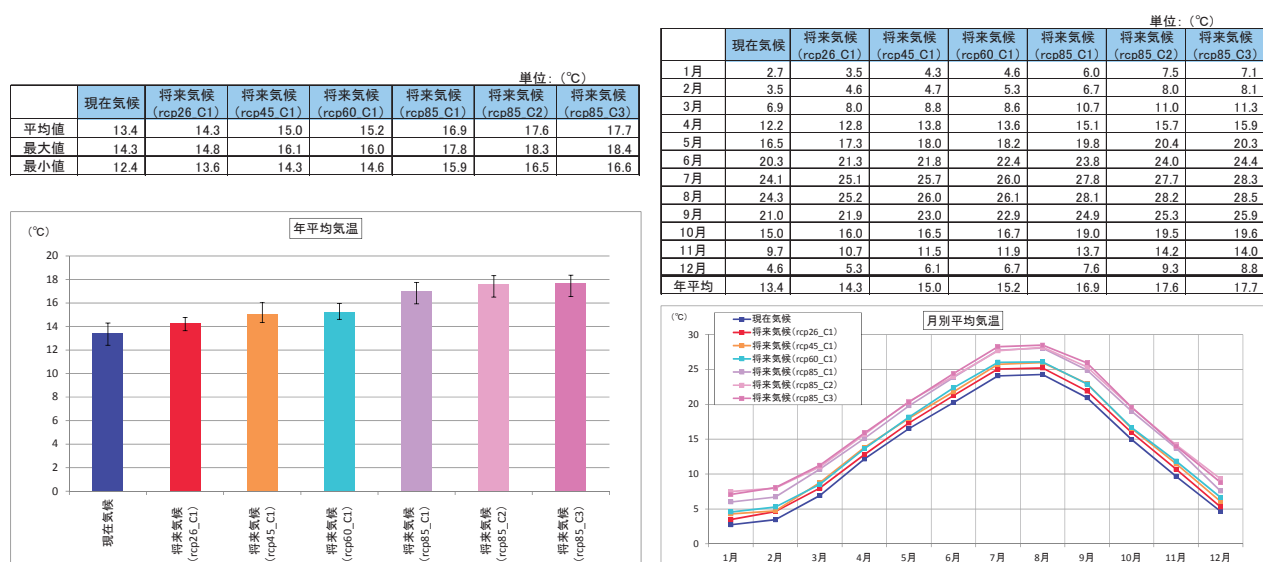
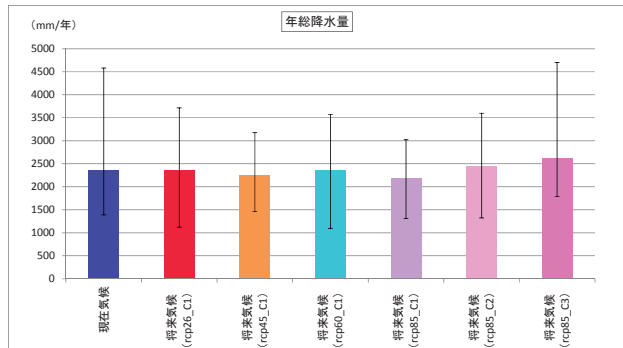


図 4-38 ケース毎の気温の比較 (左 : 年平均気温、右 : 月別平均気温)

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

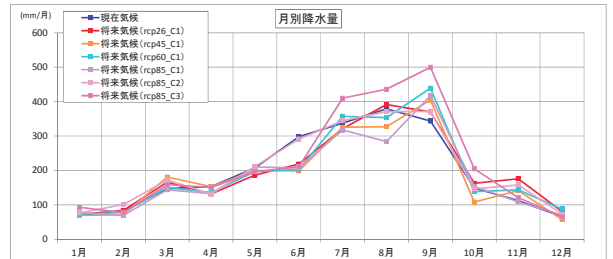
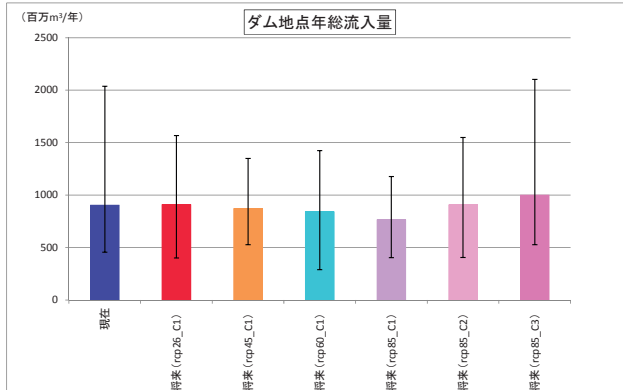


図 4-39 ケース毎の降水量の比較 (左: 年総降水量、右: 月別降水量)

単位: (百万m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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

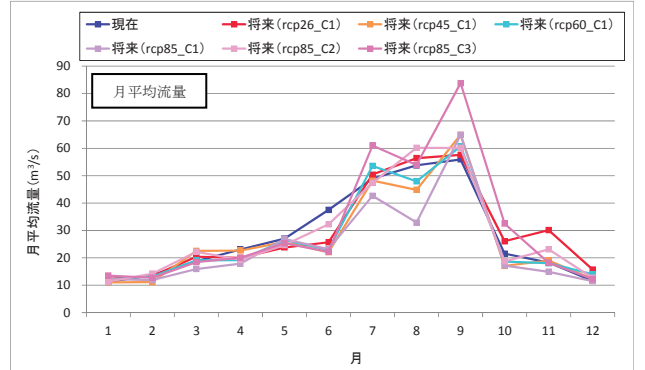


図 4-40 ケース毎のダム流入量の比較 (左: ダム年総流入量、右: 月別平均流量)

## 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"> <li>現在気候、将来気候とも、年平均表層 Chl-a 濃度は 1.0<math>\mu\text{g/L}</math> 前後と小さく、気候変動に伴う変化も小さい。</li> </ul>
底層水質悪化 (図 4-42)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
濁度の上昇 (図 4-43)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
水温の上昇 (図 4-44 ～図 4-47)	<ul style="list-style-type: none"> <li>表層水温の年平均値で、17.5<math>^{\circ}\text{C}</math> (現在)、20.9<math>^{\circ}\text{C}</math> (将来 RCP8.5C3) で最大 3.4<math>^{\circ}\text{C}</math> の上昇となる。</li> <li>放流水温は年平均値で 14.5<math>^{\circ}\text{C}</math> (現在) から 17.4<math>^{\circ}\text{C}</math> (将来 RCP8.5C3) で最大 3.2<math>^{\circ}\text{C}</math> の上昇となる。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
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"> <li>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。</li> <li>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<sup>※)</sup>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。</li> </ul> <p>《水質の変化が小さいと思われる現象》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>該当なし</li> </ul>

※)放流目標水温に従って取水深を決定する運用

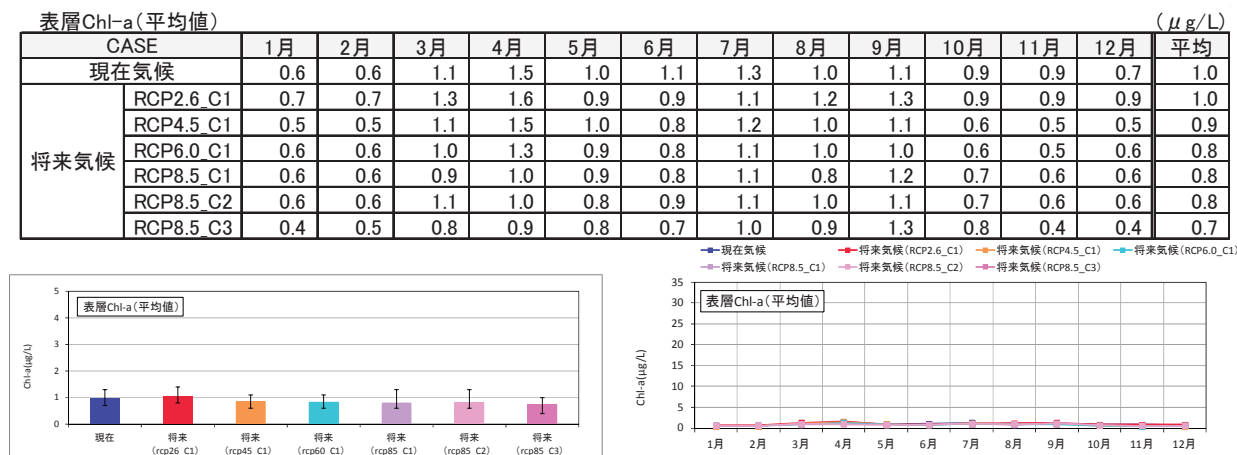


図 4-41 ケース毎の表層 Chl-a (左下 : 年平均値、右下 : 月平均値)

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

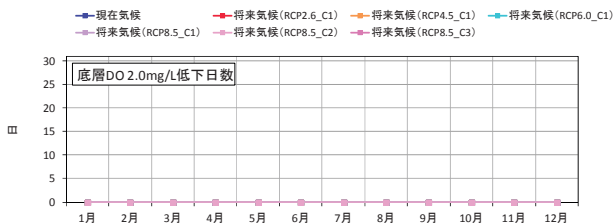


図 4-42 ケース毎の底層 DO が 2mg/L を下回る日数

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	

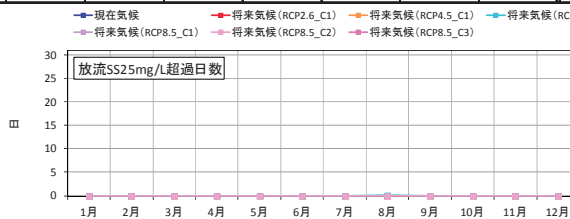
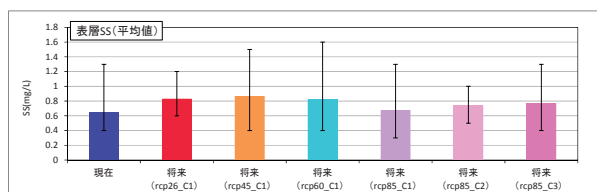


図 4-43 ケース毎の表層 SS 年平均値 (左) と放流 SS25mg/L 超過日数 (右)

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	

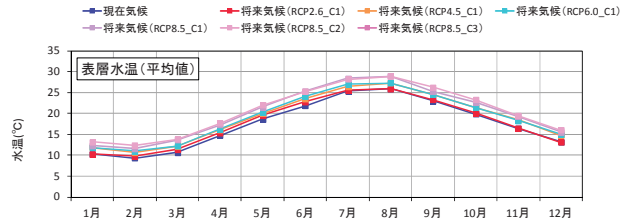
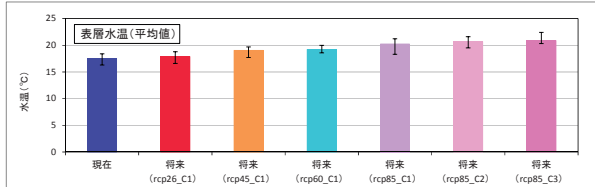


図 4-44 ケース毎の表層水温

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	

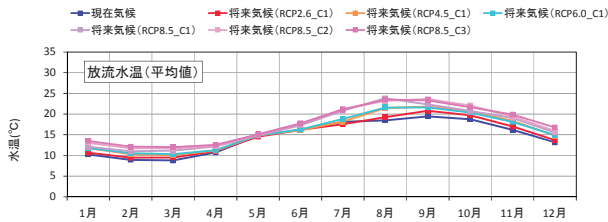


図 4-45 ケース毎の放流水温

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	

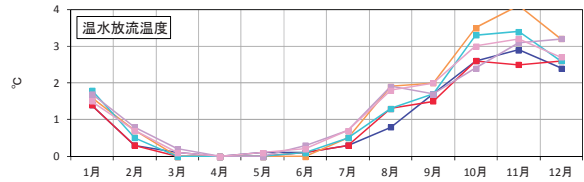
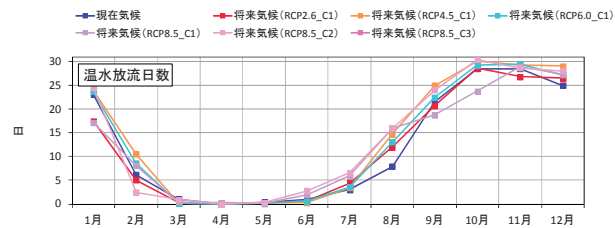


図 4-46 ケース毎の温水放流日数(左)と温水放流時の超過水温(右)



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

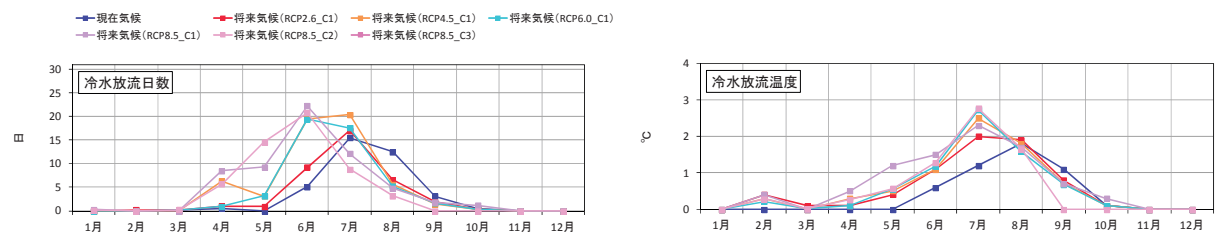


図 4-47 ケース毎の冷水放流日数 (左) と冷水放流時の超過水温 (右)

#### 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)。

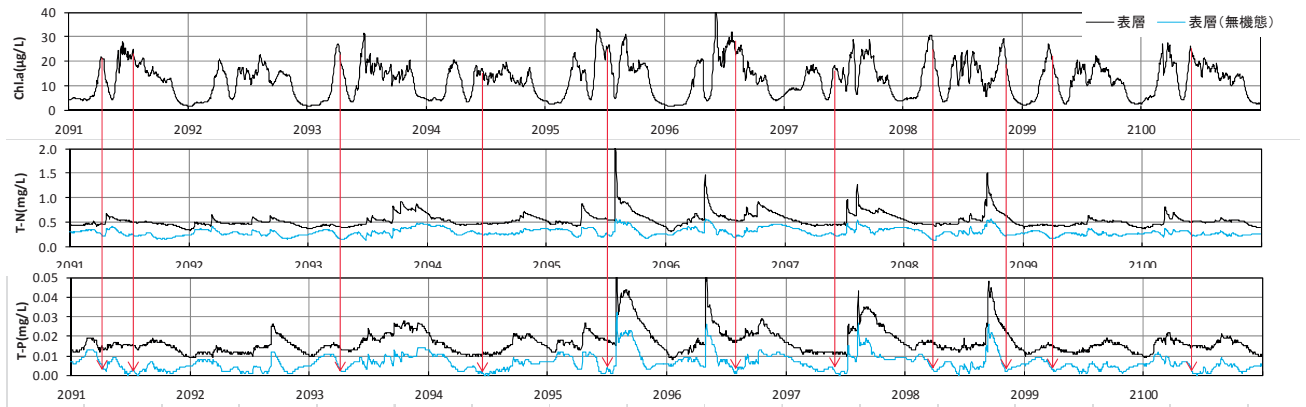


図 4-48 釜房ダムにおける Chl-a、窒素、リンの予測計算結果 (RCP8.5\_C3)

##### (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。

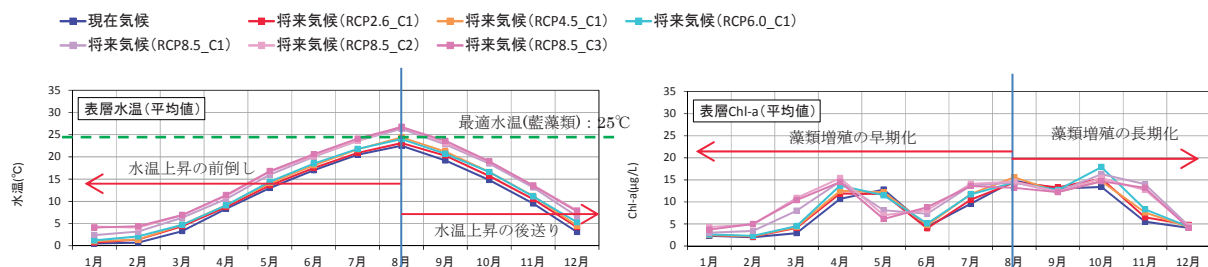


図 4-49 釜房ダムにおける水温、クロロフィル a の予測結果

#### 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 (mgO<sub>2</sub> / mgCOD · day) ;
- $\theta_{KC}$  : 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。

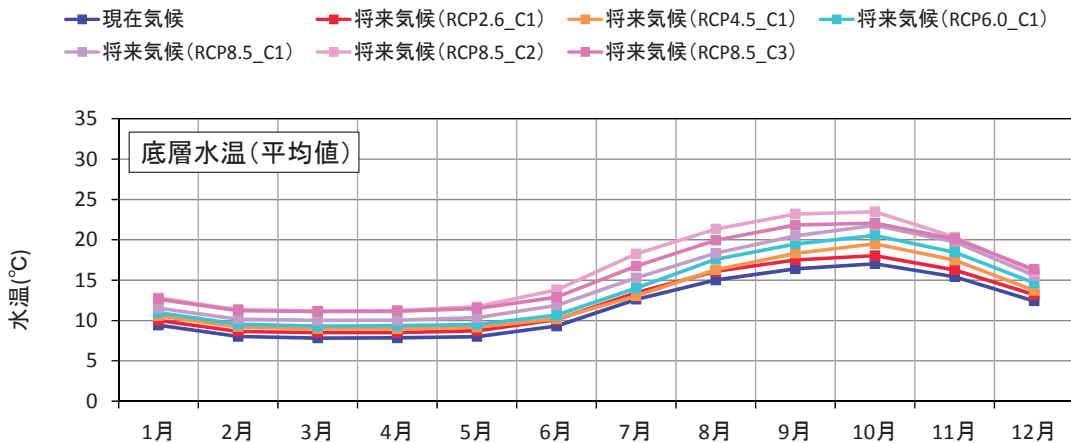


図 4-50(1) 耶馬溪ダムにおける底層水温の予測結果 (月平均値)

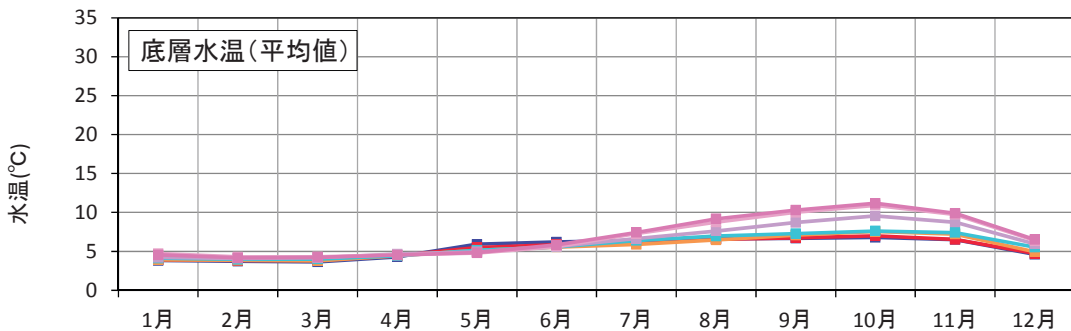


図 4-50(2) 寒河江ダムにおける底層水温の予測結果 (月平均値)

#### 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。

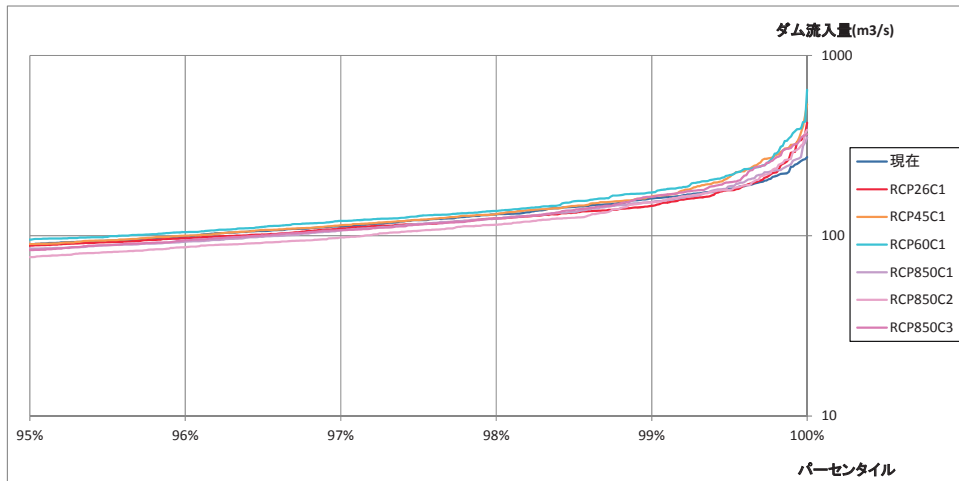


図 4-51 寒河江ダムにおける各シナリオのパーセンタイル毎のダム流入量（上位 5%）

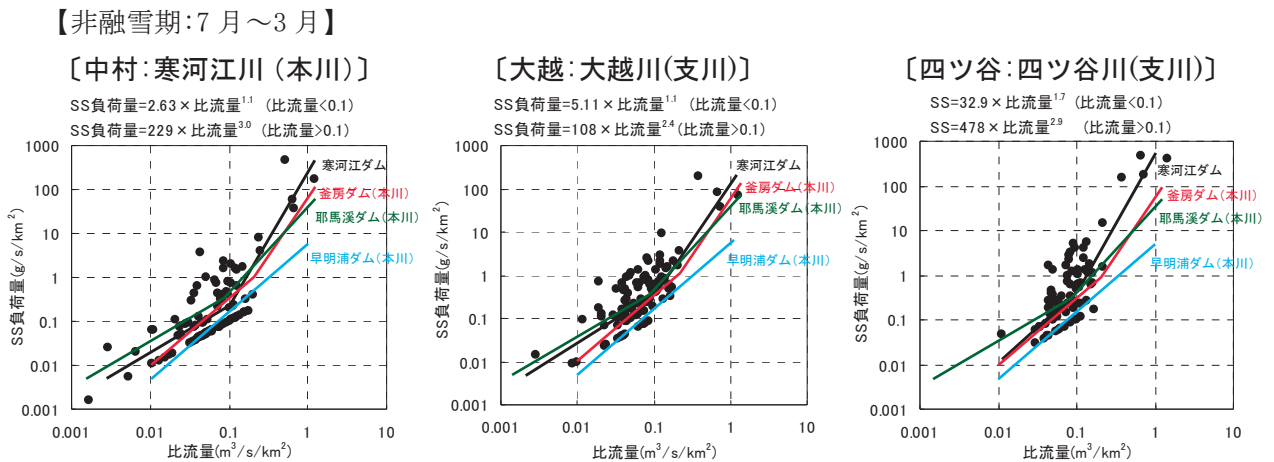


図 4-52 寒河江ダムの懸濁態物質(SS)のI-q式（他ダムとの比較）

## 5. 気候変動によるダム貯水池の水質影響への適応策の整理

ケーススタディダムにおける気候変動による水質変化の試算結果を踏まえ、適応策の試算の一例として、現在気候と将来気候の水質の変化分の解消を適応策と捉え、水質改善対策を設定し効果を試算した。具体には、図 5-1 に示すとおり、気候変動により、水質の変化が大きいと思われる現象に対して、既存施設の改造・強化（運用方法の見直しや施設諸元の改造など）による適応策を実施した場合の効果と、既存施設による適応策では十分な効果が発揮できない場合に、通常想定される施設の新規設置（新規対策は検討の対象外）を適応策として設定した際の効果を検討した。気候変動により、水質の変化が小さいと思われる現象に対しては、既存施設の改造・強化の適応策により改善が図れるかについて検討を行った。

ただし、水温の上昇については、流入水温が上昇する中で、将来気候のダム貯水池の水温を現在気候の水温と同程度まで人為的に冷却することは、膨大な費用とエネルギーを要するものと思われ、現実的には困難と言わざるを得ない。本研究が上述のとおり、既存施設の改造・強化や通常想定される施設の新規設置を適応策の前提としていることを踏まえ、本検討では、ダムによる河川水温の上昇を現在と同程度とする観点から、将来気候の温水放流日数を現在気候と同程度とすることを適応策の一例として試算する。しかし、ダムの底層部の冷水を計画的に放流し、下流河川の水温上昇の適応策とすることは、限られた期間であれば可能性を見出せたため、「5.5 ダム冷熱源の積極的な活用に関する補足検討」に整理することとした。

なお、適応策の設定については、各水質変化現象について、気候変動による変化が最も顕著な 1 ケースに対して、適応策の単一の効果を確認し（STEP1）、さらに単一で効果を発揮する対策を組み合わせた場合の複合的な適応策群の効果を検討し（STEP2）、各ケーススタディダムの最終的な適応策群として設定した。適応策群の検討フローを以下に示す。

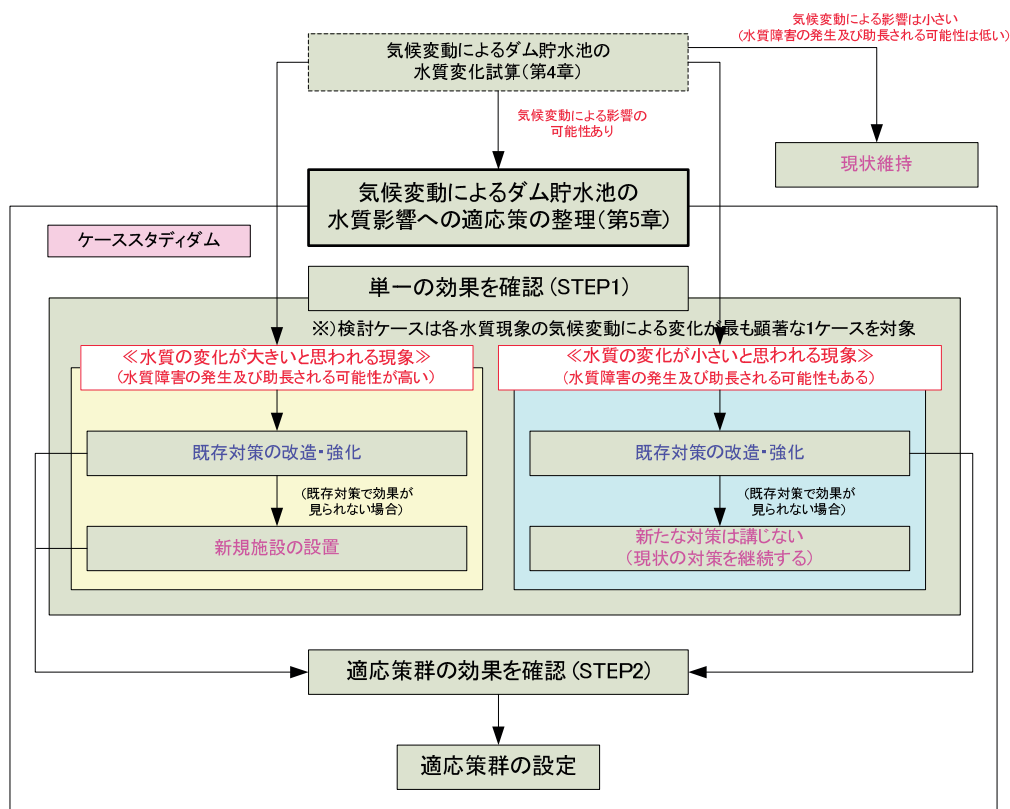


図 5-1 適応策群の検討フロー

## 5.1 釜房ダムにおける適応策群の検討

### 5.1.1 適応策の単一効果の検討 (STEP1)

#### (1) 適応策の設定

釜房ダムでは前項で示した気候変動による水質変化の試算結果を踏まえ、藻類増殖、温水放流に対する適応策の単一の効果を確認した。

表 5-1に示すとおり、釜房ダムへの適用性を踏まえ、藻類増殖に対しては曝気循環、温水放流に対しては選択取水設備及び曝気循環による適応策を設定し、その効果について確認した。

表 5-1 単一の適応策の設定 (釜房ダム)

現象	気候変動による変化・影響		適応策の選定			
	変化概要	影響度	適応策	適用性	選定	番号
藻類増殖	藻類増殖期の早期化(増殖時期が1ヶ月程度早くなる。)(表 4-6参照)	B	曝気循環	夏期には成層化しているため、循環を強くし鉛直循環を促進する余地はある。ただし既に曝気施設は入っているため、効果は小さいと考えられる。	○	適応策①
			選択取水設備	水温密度成層の制御に対しては、曝気循環の影響が強く、選択取水設備による水温成層構造の制御は難しいと考えられる。	×	—
			フェンス	フェンスは水温躍層の形成と連携しないと効果がないが、水温成層の構造は既存の曝気循環に依存しており、フェンスによる流入水の制御は難しいと考えられる。	×	—
			深層曝気	釜房ダムでは、溶出による栄養塩の負荷が流入に比べて小さいため、効果は小さいと考えられる。	×	—
			高濃度酸素水	既に設置されており、大規模化は難しい。	×	—
			前ダム	貯水池への栄養塩の流入は減少する可能性がある。ただし、貯水池内の滞留時間が長くなり、水温が上昇するなど、藻類増殖がかえって増加する可能性がある。また、施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—
			流入水バイパス	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。また、藻類の殺傷効果も小さいと考えられる。	×	—
底層水質悪化	影響は小さい	—	—	—	—	
濁度の上昇	影響は小さい	—	—	—	—	
水温の上昇 (温水放流)	気温上昇に伴う貯水池水温上昇および下流への温水放流化(表層水温は年平均3.9℃上昇し、温水放流は年間最大17日増加する。)(表 4-6参照)	A	選択取水設備	夏期に底層に僅かに残っている水温の低い層から取水し、放流水温を下げる。持続性がない可能性があるが一時的には効果が期待できる。	○	適応策②
			曝気循環	夏期に底層に僅かに残っている水温層まで混合させて全体的な水温を下げる。全体的に混合させるため、選択取水に比べると効率が悪い。また、曝気循環よって貯水池表面からの熱の取り込みが増加する可能性がある。	○	適応策③
			流入水バイパス	放流水温上昇の程度を下げることは可能であるが、貯水池内の滞留時間が長くなり、貯水池内の水温が増加する可能性が大きい。また、施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—
			日射の遮蔽	人工生態礁	人工生態礁など遮蔽物を浮かべ、日射を一部遮断。貯水池内の水温低下には一定の効果が期待されるが、対策面積が大きくなると想定され、維持管理も難しいため、現実的ではない。	×
	噴水等	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。また、気温によって飛沫が昇温し、逆効果になる可能性がある。	×	—		

影響度 A：水質の変化が大きいと思われる現象

影響度 B：水質の変化が小さいと思われる現象

## (2) 単一の効果の試算結果

表 5-2～表 5-3に藻類増殖、温水放流に対する各適応策の単一効果の試算結果を示す。

気候変動による変化が小さい現象として藻類増殖が挙げられるが、現状の施設によりこれ以上の効果を見込むことが難しいこと、現状で概ね現象の改善に適したものになっていることから、今後も現状施設の運用を継続していくことが現実的と考えられる。

気候変動による変化が大きい現象として、貯水池の水温上昇に伴う下流への温水放流の増加が挙げられるが、これに対しては既存の表層取水を基本とした取水設備を鉛直方向に選択的に取水可能なものに改造することで温水放流を抑制することが可能となる。

表 5-2 藻類増殖に対する適応策の単一効果（釜房ダム）

【適応策】	曝気循環施設の強化 < 既往対策の改造・強化 >																																																																																																																																																																							
【計算条件】	条件	理由・ねらい																																																																																																																																																																						
	<b>【曝気循環施設の強化】（適応策①）</b> <b>■曝気散気量の増加</b> 藻類が増殖した時に稼働する夏期強循環装置の散気量を2倍に増加する。 <b>■曝気位置をより下層に下げる</b> 夏期強循環装置の散気位置を EL.125m から EL.120m に変更。																																																																																																																																																																							
【効果の概要】	藻類増殖が顕著になる時の鉛直循環を強化し、増殖を抑制する。 循環の対象とする水域を拡大することで、濃度希釈などの攪拌効果を期待。																																																																																																																																																																							
【効果の概要】	> <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5_C1：既往対策+適応策①)の比較によると、気候変動後において適応策①の実施により現在気候の状態まで改善を図ることは難しいと考えられる。 > <b>【適応策実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5_C1_既往対策あり)に対して適応策①を実施した前後の比較においても、藻類増殖に対して適応策による改善効果は見られていない。 （釜房ダムでは既往施設により貯水池内で藻類増殖抑制のためにできる循環効果は限界点に達していると考えられる。更なる抑制のためには、流入水のバイパスや流域対策により、貯水池への栄養塩の負荷を削減する必要があるものと考えられる。）																																																																																																																																																																							
【予測計算結果】	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="13">表層Chl-a (平均値) (μg/L)</th> </tr> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策+適応策①</td> <td>3.0</td> <td>3.4</td> <td>7.9</td> <td>14.6</td> <td>9.6</td> <td>6.5</td> <td>13.4</td> <td>14.3</td> <td>12.1</td> <td>16.2</td> <td>14.6</td> <td>4.8</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策あり</td> <td>3.0</td> <td>3.4</td> <td>8.0</td> <td>14.6</td> <td>8.1</td> <td>7.3</td> <td>13.7</td> <td>14.4</td> <td>12.3</td> <td>16.3</td> <td>14.0</td> <td>4.6</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策なし</td> <td>3.0</td> <td>3.4</td> <td>9.3</td> <td>17.4</td> <td>7.1</td> <td>18.9</td> <td>18.9</td> <td>17.8</td> <td>13.7</td> <td>17.3</td> <td>13.7</td> <td>4.5</td> <td>12.1</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>2.3</td> <td>2.0</td> <td>2.9</td> <td>10.7</td> <td>12.8</td> <td>4.4</td> <td>9.6</td> <td>14.8</td> <td>13.0</td> <td>13.4</td> <td>5.5</td> <td>4.1</td> <td>8.0</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="13">表層CHL-a25 μg/L超過日数 (日)</th> </tr> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策+適応策①</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.0</td> <td>4.3</td> <td>0.0</td> <td>7.3</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策あり</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.2</td> <td>3.5</td> <td>0.0</td> <td>6.8</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C1_既往対策なし</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>1.7</td> <td>0.2</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> <td>1.0</td> <td>0.0</td> <td>4.1</td> <td>3.3</td> <td>0.0</td> <td>19.4</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table> 		表層Chl-a (平均値) (μg/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	RCP8.5C1_既往対策+適応策①	3.0	3.4	7.9	14.6	9.6	6.5	13.4	14.3	12.1	16.2	14.6	4.8	10.0	RCP8.5C1_既往対策あり	3.0	3.4	8.0	14.6	8.1	7.3	13.7	14.4	12.3	16.3	14.0	4.6	10.0	RCP8.5C1_既往対策なし	3.0	3.4	9.3	17.4	7.1	18.9	18.9	17.8	13.7	17.3	13.7	4.5	12.1	現在気候	2.3	2.0	2.9	10.7	12.8	4.4	9.6	14.8	13.0	13.4	5.5	4.1	8.0	表層CHL-a25 μg/L超過日数 (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	RCP8.5C1_既往対策+適応策①	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	4.3	0.0	7.3	RCP8.5C1_既往対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.5	0.0	6.8	RCP8.5C1_既往対策なし	0.0	0.0	0.6	1.7	0.2	4.5	4.0	1.0	0.0	4.1	3.3	0.0	19.4	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
表層Chl-a (平均値) (μg/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																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策+適応策①	3.0	3.4	7.9	14.6	9.6	6.5	13.4	14.3	12.1	16.2	14.6	4.8	10.0																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策あり	3.0	3.4	8.0	14.6	8.1	7.3	13.7	14.4	12.3	16.3	14.0	4.6	10.0																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策なし	3.0	3.4	9.3	17.4	7.1	18.9	18.9	17.8	13.7	17.3	13.7	4.5	12.1																																																																																																																																																											
現在気候	2.3	2.0	2.9	10.7	12.8	4.4	9.6	14.8	13.0	13.4	5.5	4.1	8.0																																																																																																																																																											
表層CHL-a25 μg/L超過日数 (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																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策+適応策①	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	4.3	0.0	7.3																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.5	0.0	6.8																																																																																																																																																											
RCP8.5C1_既往対策なし	0.0	0.0	0.6	1.7	0.2	4.5	4.0	1.0	0.0	4.1	3.3	0.0	19.4																																																																																																																																																											
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																																																																																																																																																											
<p>図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較                      （左：表層 Chl-a 月平均値、表層 Chl-a25 μg/L 超過日数）</p>																																																																																																																																																																								

表 5-3 温水放流に対する適応策の単一効果（釜房ダム）

【適応策】	選択取水設備 <既存対策の改造・強化>																																																																							
【計算条件】	条件	理由・ねらい																																																																						
	<b>【取水施設の改造】（適応策②）</b> <b>■運用方法の変更</b> 現状の表層取水を基本とした設備から任意層の取水が可能で可能な設備に改造し、取水位置を決定する流入水温に応じた目標水温※を設定する ※目標水温：予測計算により得られた気候変動後の期間内における流入水温変動幅の上限値（温水を貯めない運用）	可能な範囲で温水放流を回避する。また、熱を排除することにより貯水池内の蓄熱による水温上昇を極力抑制する。																																																																						
【効果の概要】																																																																								
▶ <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5 C3：既往対策+適応策②)の比較によると、気候変動後において適応策②の実施により現在気候と同等の状態（温水放流日数が年間125日程度）まで改善を図ることができる。 ▶ <b>【適応策実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5 C3 既往対策あり)に対して適応策②を実施した前後の比較においても、選択取水の適用により温水放流を改善できる。（温水放流日数が年間19日程度改善）																																																																								
【予測計算結果】																																																																								
温水放流日数 (日)																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策+適応策②</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.8</td> <td>7.4</td> <td>20.3</td> <td>26.3</td> <td>26.6</td> <td>30.6</td> <td>11.3</td> <td>0.2</td> <td>124.6</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策あり</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>6.8</td> <td>13.9</td> <td>24.8</td> <td>28.2</td> <td>27.3</td> <td>30.7</td> <td>11.6</td> <td>0.2</td> <td>143.7</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策なし</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.7</td> <td>22.0</td> <td>26.8</td> <td>27.6</td> <td>29.7</td> <td>27.4</td> <td>30.8</td> <td>11.6</td> <td>0.2</td> <td>179.9</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.4</td> <td>15.5</td> <td>25.9</td> <td>28.5</td> <td>24.4</td> <td>25.6</td> <td>6.6</td> <td>0.0</td> <td>127.0</td> </tr> </tbody> </table>			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	RCP8.5C3 既往対策+適応策②	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	7.4	20.3	26.3	26.6	30.6	11.3	0.2	124.6	RCP8.5C3 既往対策あり	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	RCP8.5C3 既往対策なし	0.1	0.0	0.0	3.7	22.0	26.8	27.6	29.7	27.4	30.8	11.6	0.2	179.9	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
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																																																											
RCP8.5C3 既往対策+適応策②	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	7.4	20.3	26.3	26.6	30.6	11.3	0.2	124.6																																																											
RCP8.5C3 既往対策あり	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																																																											
RCP8.5C3 既往対策なし	0.1	0.0	0.0	3.7	22.0	26.8	27.6	29.7	27.4	30.8	11.6	0.2	179.9																																																											
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																																																											
温水放流温度 (°C)																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策+適応策②</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>0.3</td> <td>1.0</td> <td>2.7</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策あり</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.3</td> <td>0.7</td> <td>1.4</td> <td>2.9</td> <td>2.5</td> <td>2.1</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策なし</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.4</td> <td>1.5</td> <td>2.2</td> <td>2.8</td> <td>3.6</td> <td>2.6</td> <td>2.1</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>1.3</td> <td>2.4</td> <td>1.8</td> <td>1.3</td> <td>0.5</td> <td>0.0</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table>			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	RCP8.5C3 既往対策+適応策②	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.0	2.7	2.5	2.0	0.8	0.0	1.9	RCP8.5C3 既往対策あり	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	RCP8.5C3 既往対策なし	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	2.2	2.8	3.6	2.6	2.1	0.8	0.0	2.4	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
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																																																											
RCP8.5C3 既往対策+適応策②	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.0	2.7	2.5	2.0	0.8	0.0	1.9																																																											
RCP8.5C3 既往対策あり	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																																																											
RCP8.5C3 既往対策なし	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	2.2	2.8	3.6	2.6	2.1	0.8	0.0	2.4																																																											
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																																																											
※温水放流が発生した日のみの平均値																																																																								
図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較 （左：温水放流日数、右：温水放流温度※）※温水放流時における放流水温と流入水温変動範囲（最大値）の差																																																																								
【適応策】	曝気循環施設 <既存対策の改造・強化>																																																																							
【計算条件】	条件	理由・ねらい																																																																						
	<b>【曝気循環施設の強化】（適応策③）</b> <b>■曝気散気量</b> 藻類が増殖した時に稼働する夏期強循環装置の散気量を2倍に増加する。 <b>■曝気位置</b> 夏期強循環装置の散気位置をEL.125mからEL.120mに変更。	貯水池内水温が上昇しやすい夏期に、水温の低い下層を含めた鉛直混合を促進し、表層水温の低下を図る。 循環の対象とする水域を拡大することで、鉛直混合後による表層水温低下効果が大きくなることを期待。																																																																						
【効果の概要】																																																																								
▶ <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5 C3：既往対策+適応策③)の比較によると、気候変動後において適応策③の実施により現在気候と同等の状態（温水放流日数が年間127日程度）まで改善を図ることができる。 ▶ <b>【適応策実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5 C3 既往対策あり)に対して適応策③を実施した前後の比較においても、曝気循環の増設により温水放流を改善できる。（温水放流日数が年間17日程度改善）																																																																								
【予測計算結果】																																																																								
温水放流日数 (日)																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策+適応策③</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.2</td> <td>11.0</td> <td>15.3</td> <td>26.9</td> <td>27.1</td> <td>30.7</td> <td>12.7</td> <td>0.2</td> <td>127.4</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策あり</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>6.8</td> <td>13.9</td> <td>24.8</td> <td>28.2</td> <td>27.3</td> <td>30.7</td> <td>11.6</td> <td>0.2</td> <td>143.7</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策なし</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.7</td> <td>22.0</td> <td>26.8</td> <td>27.6</td> <td>29.7</td> <td>27.4</td> <td>30.8</td> <td>11.6</td> <td>0.2</td> <td>179.9</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.4</td> <td>15.5</td> <td>25.9</td> <td>28.5</td> <td>24.4</td> <td>25.6</td> <td>6.6</td> <td>0.0</td> <td>127.0</td> </tr> </tbody> </table>			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	RCP8.5C3 既往対策+適応策③	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2	11.0	15.3	26.9	27.1	30.7	12.7	0.2	127.4	RCP8.5C3 既往対策あり	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	RCP8.5C3 既往対策なし	0.1	0.0	0.0	3.7	22.0	26.8	27.6	29.7	27.4	30.8	11.6	0.2	179.9	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
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																																																											
RCP8.5C3 既往対策+適応策③	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2	11.0	15.3	26.9	27.1	30.7	12.7	0.2	127.4																																																											
RCP8.5C3 既往対策あり	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																																																											
RCP8.5C3 既往対策なし	0.1	0.0	0.0	3.7	22.0	26.8	27.6	29.7	27.4	30.8	11.6	0.2	179.9																																																											
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																																																											
温水放流温度 (°C)																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策+適応策③</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.2</td> <td>0.5</td> <td>0.8</td> <td>2.1</td> <td>2.4</td> <td>2.1</td> <td>0.9</td> <td>0.0</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策あり</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.3</td> <td>0.7</td> <td>1.4</td> <td>2.9</td> <td>2.5</td> <td>2.1</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既往対策なし</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.4</td> <td>1.5</td> <td>2.2</td> <td>2.8</td> <td>3.6</td> <td>2.6</td> <td>2.1</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>1.3</td> <td>2.4</td> <td>1.8</td> <td>1.3</td> <td>0.5</td> <td>0.0</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table>			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	RCP8.5C3 既往対策+適応策③	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.8	2.1	2.4	2.1	0.9	0.0	1.8	RCP8.5C3 既往対策あり	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	RCP8.5C3 既往対策なし	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	2.2	2.8	3.6	2.6	2.1	0.8	0.0	2.4	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
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																																																											
RCP8.5C3 既往対策+適応策③	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.8	2.1	2.4	2.1	0.9	0.0	1.8																																																											
RCP8.5C3 既往対策あり	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																																																											
RCP8.5C3 既往対策なし	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	2.2	2.8	3.6	2.6	2.1	0.8	0.0	2.4																																																											
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																																																											
※温水放流が発生した日のみの平均値																																																																								
図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較 （左：温水放流日数、右：温水放流温度※）※温水放流時における放流水温と流入水温変動範囲（最大値）の差																																																																								



## 5.1.2 適応策群による効果の検討（STEP2）

### (1) 適応策群設定条件

各水質変化現象に対する単一の適応策の効果を確認した結果、釜房ダムで設定する適応策群は温水放流に対する適応策から構成することとした。温水放流で検討した2つの対策（選択取水設備と曝気循環）は、釜房ダムにおいては、互いの効果を相殺するものではない。従って、既存の浅層曝気循環を強化した場合でも水温分布が完全に消滅することはなく、より良い層から取水可能となる。

釜房ダムでは、表 5-4に示すように、選択取水（水温見合い）および浅層曝気循環施設の強化といった既存の施設の活用による適応策群を設定した。

表 5-4 釜房ダムで設定した適応策群

水質変化現象	適応策群	ねらい
藻類増殖	・ 設定しない	➤ 現状の対策を継続する。
底層水質悪化	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
濁度の上昇	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
水温の上昇 (温水放流)	<b>【選択取水設備の改造・運用見直し】</b> ・ 選択取水可能な設備とし、流入水温変動範囲を超過しない層のうち、最も水深の浅い層から取水。選択取水の稼働範囲はEL.120m～常時満水位とする。	➤ 曝気循環後の水温分布から、可能な範囲で温水放流を回避する。 ➤ 熱を排除することにより貯水池内の蓄熱による水温上昇を極力抑制する。
	<b>【浅層曝気循環施設の強化】</b> ・ 夏期強循環装置の散気量を2倍に増加。 ・ 散気位置をEL.125mからEL.120mに変更。	➤ 貯水池内水温が上昇しやすい夏期に、水温の低い下層を含めた鉛直混合を促進し、表層水温の低下を図る。 ➤ 循環の対象とする水域を拡大することで、鉛直混合による表層水温低下効果が大きくなることを期待する。

## (2) 適応策群の効果

適応策群設定による水質の変化を以下に整理した。

本検討で設定した、既存の施設である選択取水設備の改造および曝気循環施設の強化といった適応策群は、気候変動により変化が大きい温水放流に対して改善効果を発揮していること、また、その他の水質変化現象に対しても大きな変化が生じていないことから有効であると評価できる。

表 5-5 釜房ダムにおける適応策群の水質改善効果

	変化の概要
藻類増殖	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい。
底層水質悪化	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい。
濁度の上昇	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい。
水温の上昇 (温水放流) (図 5-2参照)	➤ <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策群)の比較によると、温水放流日数が年間 127 日から 109 日に減少し、気候変動後において適応策群により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。 ➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5_C3)での適応策群実施前後の比較においても、温水放流日数が年間 35 日減少する効果が確認される。

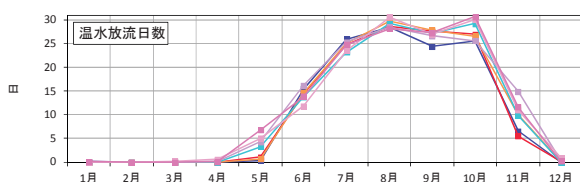
温水放流日数		CASE												(日)	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	既存対策あり	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	15.5	25.9	28.5	24.4	25.6	6.6	0.0	127.0	
	既存対策あり+適応策群	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	2.8	13.6	26.0	23.4	25.7	6.7	0.0	98.3	
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	14.5	24.7	28.6	27.6	27.0	5.5	0.2	129.1	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	14.4	25.1	26.9	26.9	6.1	0.1	102.3
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	13.3	26.5	27.4	26.5	10.2	0.2	106.4
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.3	13.4	27.1	26.4	28.9	10.8	0.0	110.5
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.9	14.6	24.6	25.2	25.8	15.9	0.4	111.7
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.3	11.3	26.1	26.2	30.2	11.6	1.0	111.2
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		
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.0	12.5	23.0	26.6	30.5	12.6	0.2	109.0	

温水放流温度		CASE												(°C)	
		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	既存対策あり	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	
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	2.1	1.8	1.3	0.5	0.0	1.5	
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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.8	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.0	2.0	1.6	0.6	0.1	1.6
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	2.0	2.4	1.5	0.6	0.0	1.7
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	2.1	2.6	1.3	0.7	0.2	1.7
	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	
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	2.2	2.4	1.9	0.6	0.1	1.9
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		
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	2.0	2.4	2.1	0.8	0.0	1.8	

※温水放流が発生した日のみの平均値

- 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)

既存対策のみ



既存対策+適応策群

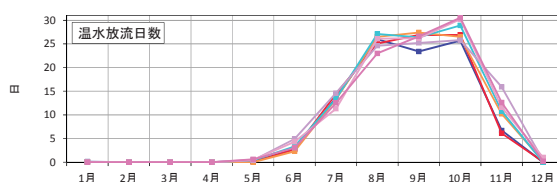


図 5-2 釜房ダムにおける適応策群実施前後の温水放流日数の変化

## 5.2 耶馬溪ダムにおける適応策群の検討

### 5.2.1 適応策の単一効果の検討 (STEP1)

#### (1) 適応策の設定

耶馬溪ダムでは前項で示した気候変動による水質変化の試算結果を踏まえ、藻類増殖、底層水質悪化、冷温水放流に対する適応策の単一の効果を確認した。

表 5-6に示すとおり、耶馬溪ダムへの適用性を踏まえ、藻類増殖に対しては曝気循環、底層水質悪化に対しては深層曝気及び高濃度酸素水、冷温水放流に対しては選択取水設備による適応策を設定し、その効果について確認した。

表 5-6 単一の適応策の効果のまとめ (耶馬溪ダム)

現象	気候変動による変化・影響		適応策の選定				
	変化概要	影響度	適応策	適用性	選定	番号	
藻類増殖	藻類増殖期の早期化(増殖時期が1ヶ月程度早くなる。) (表 4-8参照)	B	曝気循環	夏期には成層化しているため、循環を強くし鉛直循環を促進する余地はある。ただし既に曝気施設は入っているため、効果は小さいと考えられる。	○	適応策①, ②	
			選択取水設備	水温密度成層の制御に対しては、曝気循環の影響が強く、選択取水設備による水温成層構造の制御は難しいと考えられる。	×	—	
			フェンス	フェンスは水温躍層の形成と連携しないと効果が無いが、水温成層の構造は既存の曝気循環に依存しており、今以上のフェンスによる流入水の制御は難しいと考えられる。	(対策済)	(対策済)	
			深層曝気	底層の貧酸素化に伴い溶出した栄養塩に関しては、循環期に混合され表層へ供給されることが考えられるため、表層chl-aが上昇する可能性がある5~6月(停滞期)では、曝気による改善効果は小さいと考えられる。	(対策済)	(対策済)	
			高濃度酸素水		×	—	
			前ダム	施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—	
			清水バイパス	貯水池への栄養塩の流入は減少するが、貯水池内の滞留時間が長くなり、水温が上昇するなど、藻類増殖がかえって増加する可能性がある。施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—	
噴水	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。藻類の殺傷効果も小さいと考えられる。	×	—				
底層水質悪化	底層の貧酸素化が助長される。(底層DO2mg/L 低下日数が年間最大50日増加する) (表 4-8参照)	A	深層曝気	底層のDOが低下する傾向が見られているため、改造等により循環を強くする、施設の運用時期を延ばす等の対応により、改善される可能性がある。	○	適応策③, ④	
			高濃度酸素水	底層のDOが低下する傾向が見られているため、高濃度の酸素水を供給することで底層DOの改善される可能性がある。	○	適応策⑤	
濁度の上昇	影響は小さい	—	—	—	—	—	
水温の上昇 (温水放流)	気温上昇に伴う貯水池水温上昇および下流への温水放流が確認される。(表層水温は年平均3.6℃上昇し、温水放流は年間13日増加する。)また、選択取水設備の運用ルールが気候変動に適しておらず下流への冷水放流が増加する。(年間最大21日増加する) (表 4-8参照)	A	選択取水設備	湖水中の水温に応じて取水位置を変化させ、放流水温を調整する。持続性がない可能性があるが一時的には効果が期待できる。選択取水の運用ルールについて、将来の気温上昇に合わせた目標水温を設定することで、5~7月の冷水放流が改善される可能性がある。また、冷水放流が改善されることで、以降の湖内の水温上昇抑制に繋がり、6~12月の温水放流も改善される可能性がある。	○	適応策⑥	
			曝気循環	貯水池内の水温に応じた取水を行う選択取水設備が稼働している耶馬溪ダムにおいては、(選択取水設備に比べ)曝気循環による冷温水放流への効果は小さいと考えられる。	(対策済)	(対策済)	
			流入水バイパス	放流水温上昇の程度を下げることは可能であるが、貯水池内の滞留時間が長くなり、貯水池内の水温が増加する可能性が大きい。また、施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—	
			日射の遮蔽	人工生態礁	人工生態礁など遮蔽物を浮かべ、日射を一部遮断。貯水池内の水温低下には一定の効果が期待されるが、対策面積が大きくなると想定され、維持管理も難しいため、現実的ではない。	×	—
			噴水等	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。また、気温によって飛沫が昇温し、逆効果になる可能性がある。	×	—	

影響度 A : 水質の変化が大きいと思われる現象

影響度 B : 水質の変化が小さいと思われる現象

(2) 単一の効果の試算結果

表 5-7～表 5-9に藻類増殖、底層水質悪化、冷温水放流に対する各適応策の単一効果の試算結果を示す。

気候変動により変化が小さい現象として挙げられる藻類増殖については、現状の施設である浅層曝気循環装置の運用を見直すことで時期によってはわずかであるが藻類増殖の低減が可能となる。

気候変動により変化が大きい現象として、底層の貧酸素化による水質悪化、貯水池の水温上昇に伴う下流への温水放流の増加、または、下流への冷水放流が挙げられるが、これらに対しては既存の施設（浅層曝気循環装置、深層曝気施設、選択取水設備）の運用見直し・強化により改善が図られることが確認された。

表 5-7 藻類増殖に対する適応策の単一効果（耶馬溪ダム）

【適応策】	浅層曝気循環施設の運用時期変更および強化 <既存対策の改造・強化>	
【計算条件①②】	条件	理由・ねらい
	<b>【浅層曝気循環施設の運用変更・強化】</b> ■運用開始時期の変更（適応策①） 既存の浅層曝気施設（2台）の運用開始時期を5月から4月に変更。	藻類増殖のタイミングが変化していることへの対応。
	■曝気散気量の増加（適応策②） ①の条件に加え、浅層曝気施設（水面設置式）の散気量を2倍に増加。	藻類増殖が顕著になる時の鉛直循環を強化し、増殖を抑制する。

【効果の概要】

- **【現在気候との比較】**：現在気候と将来気候(RCP8.5\_C3：既往対策+適応策①または適応策②)の比較によると、気候変動後の方が現在よりも年平均での藻類増殖が低減されている。  
 (耶馬溪ダムでは気候変動により藻類増殖に適さない水温まで上昇しているためである。)
- **【適応策実施前後による比較】**：将来気候(RCP8.5\_C3 既存対策あり)に対して適応策①または適応策②を実施した前後の比較によると、わずかであるが藻類増殖に対して適応策による改善効果は見られる。  
 (曝気施設の運用開始を早めたことにより、5～6月の表層 Chl-a 濃度が 0.7 μg/L 減少しており、わずかであるが改善効果は見られる。ただし、運用開始時期の変更に加えて曝気散気量を増加した場合（適応策②）の改善効果は確認できない。)

【予測計算結果】

表層Chl-a(平均値)

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
RCP8.5C3(既存対策+適応策①)	5.0	7.0	16.0	12.9	15.1	17.1	14.8	12.1	8.2	7.3	9.1	6.9	11.0
RCP8.5C3(既存対策+適応策②)	5.0	7.0	16.0	12.7	14.9	17.0	14.6	11.9	8.1	7.3	9.1	6.9	10.9
RCP8.5C3(既存対策あり)	5.0	7.0	16.0	13.1	15.8	17.4	14.9	12.2	8.2	7.3	9.1	6.9	11.1
RCP8.5C3(既存対策なし)	5.1	7.1	16.4	13.1	16.3	18.9	18.7	22.1	14.0	9.6	10.7	7.5	13.3
現在気候	3.6	9.7	22.2	17.9	12.6	16.0	19.4	15.0	11.3	10.7	7.4	4.1	12.5

表層CHL-a25 μg/L超過日数

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
RCP8.5C3(既存対策+適応策①)	0.7	0.3	2.3	0.2	3.1	6.0	3.5	2.8	0.7	0.1	0.3	0.0	20.0
RCP8.5C3(既存対策+適応策②)	0.7	0.3	2.3	0.2	3.0	5.8	3.3	2.7	0.7	0.1	0.3	0.0	19.4
RCP8.5C3(既存対策あり)	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
RCP8.5C3(既存対策なし)	0.7	0.7	3.0	0.3	4.7	8.2	6.4	11.0	2.4	0.2	0.3	0.0	37.9
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

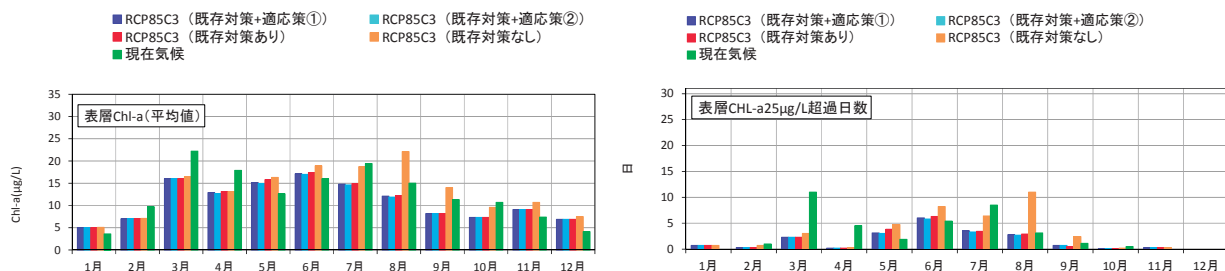


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較  
 (左：表層 Chl-a 月平均値、表層 Chl-a25 μg/L 超過日数)

表 5-8 底層水質悪化に対する適応策の単一効果（耶馬溪ダム）

【適応策】	深層曝気施設の運用見直し・強化 高濃度酸素水供給施設の設置	< 既往対策の改造・強化 > < 新規施設の設置 >																																																																																																		
【計算条件】	条件	理由・ねらい																																																																																																		
	【深層曝気施設の運用変更・強化】 ■運用開始時期の変更（適応策③） 既存の深層 DO 改善設備の運用開始時期を 5 月から 4 月に変更。	深層曝気循環により底層の DO を改善させる。																																																																																																		
	■曝気散気量(深層)の増加（適応策④） ③の条件に加え、深層 DO 改善設備の散気量を 2 倍に増加。																																																																																																			
	【高濃度酸素水供給装置の新規設置】（適応策⑤） ③の条件に加え、高濃度酸素水供給装置を 1 台設置。 （運用時期：深層 DO 改善設備と同様の 4～9 月、散気量：80m <sup>3</sup> /h、吐出 DO 濃度：300%）	高濃度酸素水供給により底層の DO を改善させる。																																																																																																		
【効果の概要】	> 【現在気候との比較】：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策③)の比較によると、気候変動後に適応策実施による改善効果はあるものの、現在気候の状態まで改善を図ることは難しい。また、現在気候と既往対策+適応策④または適応策⑤との比較によると、気候変動後において適応策実施により現在気候より改善を図ることが可能である。（底層 DO2mg/L 低下日数で年間 18 日程度改善） > 【適応策実施前後による比較】：将来気候(RCP8.5_C3 既存対策あり)に対して適応策③を実施した前後の比較においては、底層 DO2mg/L 低下日数は年間 11 日程度改善されており、適応策④または適応策⑤を実施した場合は、底層 DO2mg/L 低下日数は年間 58 日程度改善される。																																																																																																			
【予測計算結果】	底層DO 2.0mg/L低下日数 (日)																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3 既存対策+適応策③</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.2</td> <td>0.2</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>2.4</td> <td>16.9</td> <td>20.5</td> <td>6.5</td> <td>0.0</td> <td>0.2</td> <td>47.9</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既存対策+適応策④</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.3</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既存対策+適応策⑤</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.2</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既存対策あり</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.2</td> <td>10.0</td> <td>1.4</td> <td>0.0</td> <td>2.5</td> <td>16.9</td> <td>20.5</td> <td>6.6</td> <td>0.0</td> <td>0.2</td> <td>59.3</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3 既存対策なし</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>1.0</td> <td>8.1</td> <td>26.0</td> <td>29.2</td> <td>31.0</td> <td>31.0</td> <td>29.7</td> <td>16.6</td> <td>6.8</td> <td>2.6</td> <td>181.9</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>0.8</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>4.4</td> <td>9.3</td> <td>3.9</td> <td>0.0</td> <td>0.5</td> <td>18.9</td> </tr> </tbody> </table>	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	RCP8.5C3 既存対策+適応策③	0.0	0.0	1.2	0.2	0.0	0.0	2.4	16.9	20.5	6.5	0.0	0.2	47.9	RCP8.5C3 既存対策+適応策④	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.4	RCP8.5C3 既存対策+適応策⑤	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	RCP8.5C3 既存対策あり	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	RCP8.5C3 既存対策なし	0.0	0.0	1.0	8.1	26.0	29.2	31.0	31.0	29.7	16.6	6.8	2.6	181.9	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	
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																																																																																							
RCP8.5C3 既存対策+適応策③	0.0	0.0	1.2	0.2	0.0	0.0	2.4	16.9	20.5	6.5	0.0	0.2	47.9																																																																																							
RCP8.5C3 既存対策+適応策④	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.4																																																																																							
RCP8.5C3 既存対策+適応策⑤	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3																																																																																							
RCP8.5C3 既存対策あり	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																																																																																							
RCP8.5C3 既存対策なし	0.0	0.0	1.0	8.1	26.0	29.2	31.0	31.0	29.7	16.6	6.8	2.6	181.9																																																																																							
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																																																																																							
	図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（底層 DO2.0mg/L 低下日数）																																																																																																			

表 5-9 水温の上昇（冷水放流）に対する適応策の単一効果（耶馬溪ダム）

【適応策】	選択取水設備の運用方法見直し <既存対策の改造・強化>												
【計算条件】	条件	理由・ねらい											
	<b>【選択取水設備の運用変更】（適応策⑥）</b> 取水位置決定に影響する目標水温等を、各ケースの流入水温に応じた値に修正※。 ※目標水温：予測計算により得られた気候変動後の期間内変動幅の平均値	可能な範囲で流入水温と同程度の放流水温とする。											
【効果の概要】													
> <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策⑥)の比較によると、気候変動後において適応策⑥の実施により現在気候よりも冷水放流はやや改善され、温水放流はやや増加する。（冷水放流日数が年間4日程度低減し、温水放流日数が年間3日程度増加する） > <b>【適応策実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5_C3 既往対策あり)に対して適応策⑥を実施した前後の比較によると、適応策⑥の実施により冷水放流日数は年間25日程度改善されており、温水放流日数についても年間4日程度改善されている。													
【予測計算結果】													
冷水放流日数 (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
RCP8.5C3_既存対策+適応策⑥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
RCP8.5C3_既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	7.0	5.8	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	28.6
RCP8.5C3_既存対策なし	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.2	1.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
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
温水放流日数 (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
RCP8.5C3_既存対策+適応策⑥	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	6.3	9.7	18.4	8.5	7.0	51.3
RCP8.5C3_既存対策あり	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	7.6	10.8	20.1	8.6	7.0	54.5
RCP8.5C3_既存対策なし	0.2	0.0	0.1	0.1	1.0	6.8	9.9	18.1	12.3	19.4	8.0	6.8	82.7
現在気候	0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	8.1	13.6	13.1	9.7	3.0	48.2

■ RCP85C3 (既存対策+適応策⑥) ■ RCP85C3 (既存対策あり)

■ RCP85C3 (既存対策なし) ■ 現在気候

■ RCP85C3 (既存対策+適応策⑥) ■ RCP85C3 (既存対策あり)

■ RCP85C3 (既存対策なし) ■ 現在気候

図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較  
（左：冷水放流日数、右：温水放流日数）

## 5.2.2 適応策群による効果の検討（STEP2）

### (1) 適応策群設定条件

各水質変化現象に対する単一の適応策の効果の確認した結果、耶馬溪ダムにおいて設定する適応策群は藻類増殖、底層水質悪化、冷温水放流に対する適応策から構成することとした。

耶馬溪ダムでは、表 5-10に示すように、浅層曝気循環施設及び深層曝気施設の運用時期の見直しや強化、選択取水設備の運用見直しといった既存の施設を活用した適応策群を設定した。なお、底層水質悪化対策として高濃度酸素水供給施設による改善効果も確認されているが、深層曝気施設の強化と同程度の効果となることからコスト面を考慮し適応策群として設定していない。

表 5-10 耶馬溪ダムで設定した適応策群

水質変化現象	適応策群	ねらい
藻類増殖	<b>【浅層曝気循環施設の運用時期見直し】</b> ・既存の浅層曝気施設の運用開始時期を5月から4月に変更	気候変動に伴い藻類増殖のタイミングが早まっていることから、運用期間を早めて藻類増殖を抑制する。
底層水質悪化	<b>【深層曝気施設の運用時期見直し・強化】</b> ・既存の深層DO改善設備の運用開始時期を5月から4月に変更 ・既存の深層DO改善設備の散気量を2倍に増加	既存の施設が運用されていなかった4月及び夏季における底層のDOを改善させる。 散気量を2倍にして底層へのDO改善効果の強化を図る。
濁度の上昇	・設定しない	気候変動による影響は小さい。
水温の上昇 (冷温水放流)	<b>【選択取水設備の運用見直し】</b> ・選択取水設備における目標水温を、各ケースの流入水温に応じた値に修正（流入水温変動幅の平均値） ・ただし取水位置の濁度が5度以上の場合は取水位置をずらし濁度5度未満かつ目標水温に最も近い層から取水	気候変動による水温上昇を考慮した取水基準を設定することで冷温水化を抑制する。

## (2) 適応策群の効果

適応策群設定による水質の変化について以下に整理した。

本検討で設定した、既往の施設である浅層曝気循環施設、深層曝気施設、選択取水設備の運用見直しや強化といった適応策群は、気候変動により影響が懸念される底層水質悪化、冷水放流に対して改善効果を発揮していること、また、その他の水質変化現象に対しても大きな変化が生じていないことから有効であると評価できる。

表 5-11 耶馬溪ダムにおける適応策群の水質改善効果

	変化の概要
藻類増殖	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
底層水質悪化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群の比較によると、底層 DO2mg/L 低下日数が年間 19 日から 2 日に減少し、気候変動後において適応策群実施により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。</li> <li>➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C3)での適応策群実施前後の比較においても、底層 DO2mg/L 低下日数が年間 57 日減少する効果が確認される。</li> </ul>
濁度の上昇	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
水温の上昇 (冷温水放流)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群の比較によると、冷水放流日数が年間 8 日から 4 日に減少し、気候変動後において適応策群実施により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。温水放流日数については現在気候より年間 3 日程度増加する。</li> <li>➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C3)での適応策群設定前後の比較においても、冷水放流日数が年間 25 日減少する効果が確認され、温水日数についても年間 3 日程度減少する効果が確認される。</li> </ul>

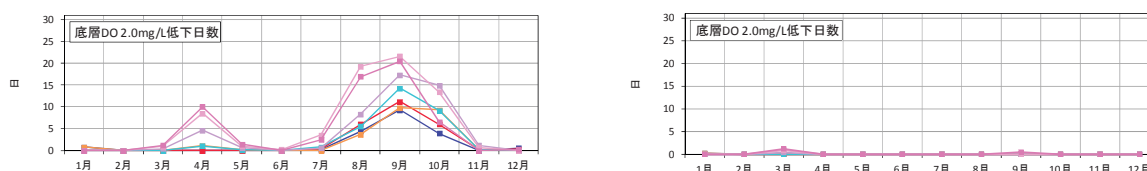
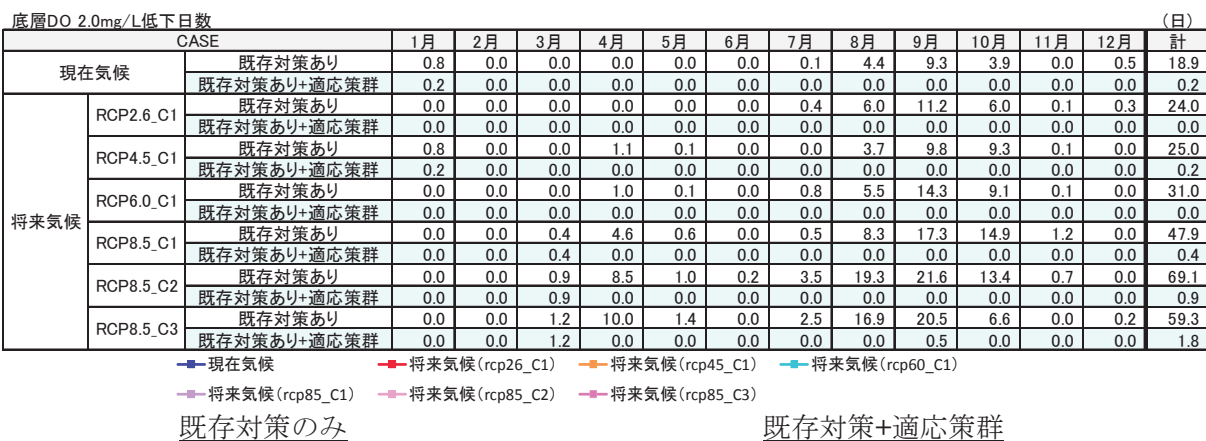


図 5-3 耶馬溪ダムにおける適応策群実施前後の底層 2.0mg/L 低下日数の変化



冷水放流日数

(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	既存対策あり	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	
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.0	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	2.6	
将来気候	RCP2.6_C1	既存対策あり	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	1.9	5.4	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	10.1
	RCP4.5_C1	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.8	1.6	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	4.8
		既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	4.2	3.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8
	RCP6.0_C1	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3	1.3	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	3.6
		既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.8	4.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
	RCP8.5_C1	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.9	1.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
		既存対策あり	0.0	0.2	0.0	0.1	10.0	9.6	6.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2
	RCP8.5_C2	既存対策あり+適応策群	0.0	0.1	0.1	0.1	0.9	1.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
		既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	4.0	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2
	RCP8.5_C3	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	1.2	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
既存対策あり		0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	7.0	5.8	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	28.6	
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	1.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	

温水放流日数

(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	既存対策あり	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	
	既存対策あり+適応策群	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.8	11.2	12.9	9.5	3.0	41.3	
将来気候	RCP2.6_C1	既存対策あり	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	既存対策あり+適応策群	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	5.7	11.3	13.3	9.8	6.1	48.9
		既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	9.7	10.7	17.3	13.0	3.2	54.2
	RCP6.0_C1	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	7.0	9.4	17.1	13.1	3.3	51.0
		既存対策あり	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	9.6	11.0	20.4	10.7	3.3	55.9
	RCP8.5_C1	既存対策あり+適応策群	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	6.2	11.9	19.9	10.9	3.4	53.7
		既存対策あり	1.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	6.0	12.0	12.4	9.4	10.0	51.5
	RCP8.5_C2	既存対策あり+適応策群	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	2.2	5.8	7.8	11.7	9.2	9.9	48.1
		既存対策あり	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.9	11.4	15.0	18.0	11.6	3.7	61.1
	RCP8.5_C3	既存対策あり+適応策群	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	10.0	14.0	18.0	11.8	3.6	59.3
既存対策あり		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	
	既存対策あり+適応策群	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	6.0	9.6	18.5	8.7	7.2	51.5	

■ 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)

既存対策のみ

既存対策+適応策群

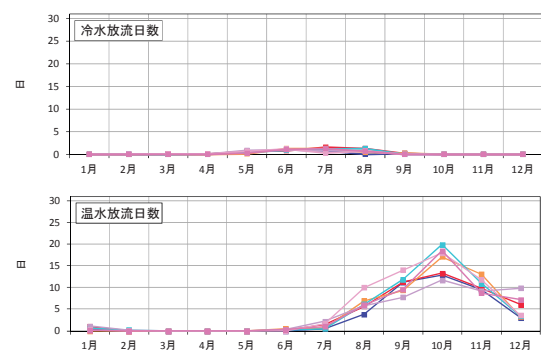
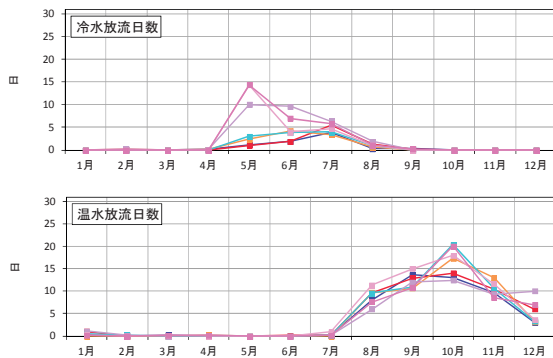


図 5-4 耶馬溪ダムにおける適応策群実施前後の冷水放流日数の変化

### 5.3 寒河江ダムにおける適応策群の検討

#### 5.3.1 適応策の単一効果の検討 (STEP1)

##### (1) 適応策の設定

寒河江ダムでは気候変動による水質変化の試算結果を踏まえ、底層水質悪化、濁度の上昇、温水放流に対する適応策の単一の効果を確認した。

表 5-12に示すとおり、寒河江ダムへの適用性を踏まえ、底層水質悪化に対しては深層曝気及び高濃度酸素水、濁度の上昇に対しては選択取水設備及び清水バイパス、温水放流に対しては選択取水設備及び曝気循環による適応策を設定し、その効果について確認した。

表 5-12 単一の適応策の効果のまとめ (寒河江ダム)

現象	気候変動による変化・影響		適応策の選定				
	変化概要	影響度	適応策	適用性	選定	番号	
藻類増殖	影響は小さい。	—	—	—	—	—	
底層水質悪化	底層の貧酸素化が助長される。(底層 DO 濃度 2mg/L を下回る日数が最大で年間 31 日増加する。) (表 4-10参照)	A	深層曝気	底層の DO が低下する傾向が見られているため、深層曝気施設の設置により、底層水質改善の可能性がある。	○	適応策①	
			高濃度酸素水	底層の DO が低下する傾向が見られているため、高濃度酸素水供給施設の設置により、底層水質改善の可能性がある。	○	適応策②	
濁度の上昇	出水後の濁度の上昇が助長される。(放流 SS25mg/L 超過日数が最大で年間 22 日増加する。) (表 4-10参照)	A	表層取水	現状では冬季を除き表面取水のため、最も濁りの小さな層から取水している。	(対策済)	(対策済)	
			選択取水設備	濁水侵入位置制御	水温躍層形成水深より下層から取水することで二次躍層形成の効果が考えられるため、濁水の侵入水深をより深い位置に制御できる可能性がある。	○	適応策③
			濁質早期放流	層状に濁水が侵入する中小規模洪水において濁水の上昇を抑制できる可能性がある。	○	適応策④	
			フェンス	取水量が多く、取水流動層が大きい場合、フェンスによる濁水制御は難しい。	×	—	
清水バイパス	放流 SS 濃度を低下させることができると考えられるが、施設が大規模になり、初期コストも大きい。このため、選択取水設備で有意な効果が見られない場合に検討する。	○	適応策⑤				
水温の上昇 (温水放流)	気温上昇に伴う貯水池水温上昇および下流への温水放流化が確認される(表層水温は年平均 3.8℃ 上昇し、温水放流は年間 5 日増加する。) (表 4-10参照)	B	選択取水設備	寒河江ダムは水深が大きく、下層に水温の低い層が残っており、これらの層から選択的に取水することにより放流水温を低下させることができる可能性がある。	○	適応策⑥	
			曝気循環	寒河江ダムは水深が大きく、下層に水温の低い層が残っている。曝気循環により、これらの層を含めて鉛直混合することによって、温化した貯水池内水温を低下させることができる可能性がある。このため、選択取水設備で有意な効果が見られない場合に検討する。	○	—	
			流入水バイパス	放流水温上昇の程度を下げることは可能であるが、貯水池内の滞留時間が長くなり、貯水池内の水温が増加する可能性が大きい。また、施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—	
			日射の遮蔽	人工生態礁	人工生態礁など遮蔽物を浮かべ、日射を一部遮断。貯水池内の水温低下には一定の効果が期待されるが、対策面積が大きくなると想定され、維持管理も難しいため、現実的ではない。	×	—
噴水等	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。また、気温によって飛沫が昇温し、逆効果になる可能性がある。	×	—				

影響度 A：水質の変化が大きいと思われる現象

影響度 B：水質の変化が小さいと思われる現象

(2) 単一の効果の試算結果

表 5-13～表 5-15に底層水質悪化、濁度の上昇、温水放流に対する各適応策の単一効果の試算結果を示す。

寒河江ダムでは、気候変動により変化が大きい現象として、底層水質悪化、出水後の濁度の上昇が挙げられる。これらの水質変化現象に対して、既存の施設(選択取水設備)のみでは改善を図ることが難しく、深層曝気施設や清水バイパスといった対策を新規に設置することが必要となる。

表 5-13 底層水質悪化に対する適応策の単一効果 (寒河江ダム)

【適応策】	深層曝気施設の設置 高濃度酸素水供給施設の設置	<新規施設の設置> <新規施設の設置>											
【計算条件】	条件												
	【深層曝気装置の新規設置】(適応策①) 深層曝気装置を新規に設置し、運用開始を融雪出水後の5月に設定(運用時期: 5~9月、散気量: 80m <sup>3</sup> /h)												
	【高濃度酸素水供給装置の新規設置】(適応策②) 高濃度酸素水供給装置を1台設置。(運用時期: 5~9月、吐出DO濃度: 300%)												
理由・ねらい													
融雪出水後の5月から運用を開始し、底層のDOを改善させる。													
【効果の概要】													
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C2: 既往対策+適応策①または適応策②)の比較によると、気候変動後において、適応策の実施により現在気候よりも改善される。(いずれの適応策も底層DO2mg/L低下日数が年間55日程度減少する)</li> <li>&gt; <b>【適応策実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C2: 既往対策あり)に対して適応策①または適応策②を実施した前後の比較においても、底層DO2mg/L低下日数は年間86日程度改善される。</li> </ul>													
【予測計算結果】													
底層DO 2.0mg/L低下日数 (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
RCP8.5C2_既往対策+適応策①	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
RCP8.5C2_既往対策+適応策②	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
RCP8.5C2_既往対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	21.0	28.0	26.0	8.0	0.7
RCP8.5C2_既往対策なし	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	20.9	27.8	26.4	8.0	0.7
現在気候	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	14.6	20.5	16.1	0.5

■ RCP8.5C1 (既往対策+適応策①)

■ RCP8.5C1 (既往対策あり)

■ 現在気候

■ RCP8.5C1 (既往対策+適応策②)

■ RCP8.5C1 (既往対策なし)

図 既往対策・適応策の有無による水質指標(月統計値)の比較  
(底層DO2.0mg/L低下日数)

表 5-14 濁度の上昇に対する適応策の単一効果（寒河江ダム）

【適応策】	選択取水設備（濁質の早期排除） <既存対策の改造・強化>	
【計算条件】	条件	理由・ねらい
	<p>【選択取水設備の運用見直し】</p> <p>■取水位置の変更（適応策③） 選択取水設備からの取水位置（5～11月）を夏期水温成層より下層のEL.350mに設定。</p> <p>■洪水時濁度ビニーク層取水（適応策④） 洪水時にはSS濃度ピーク層から取水（オリフィスゲート放水時はゲート数高 EL376.0m から取水）する。（表層濁度はSS25mg/L以下となった場合は表層取水に設定）</p>	<p>水温躍層形成水深より下層で取水することによる二次躍層の形成により、濁質をより下層へ導入し、排除の効率を向上させる。</p> <p>洪水時に侵入してきた濁水を早期に排除する。</p>

【効果の概要】

- **【現在気候との比較】**：現在気候と将来気候(RCP8.5\_C3：の既往対策+適応策③または適応策④)の比較によると、気候変動後において適応策の実施により現在気候の状態まで改善を図ることは難しい。
- **【適応策実施前後による比較】**：将来気候(RCP8.5\_C3 既往対策あり)に対して適応策③または適応策④を実施した前後の比較においても、濁度の上昇に対して適応策による改善効果は見られない。  
（適応策③については、出水後は全層の濁度が高い状態となることから、二次躍層の形成による流入濁水の下層への導入は顕著な効果を示さないと考えられる。適応策④についても、出水時は濁質の早期排除による効果は見られない。）

【予測計算結果】

表層SS(平均値)

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
RCP8.5C3 既往対策+適応策③	5.0	3.6	6.8	7.8	1.9	1.2	9.9	7.5	4.0	5.2	3.6	5.0	5.1
RCP8.5C3 既往対策+適応策④	5.0	3.5	6.8	7.8	1.9	1.2	10.1	6.9	4.0	5.9	4.3	5.2	5.2
RCP8.5C3 既往対策あり	5.1	3.6	6.8	7.8	1.9	1.2	9.5	5.5	3.8	6.0	4.6	5.6	5.1
RCP8.5C3 既往対策なし	5.1	3.6	6.8	7.8	1.9	1.2	9.5	5.5	3.8	6.0	4.6	5.6	5.1
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	3.1

放流SS25mg/L超過日数

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
RCP8.5C3 既往対策+適応策③	1.5	3.0	3.3	4.3	0.0	0.1	4.9	10.3	1.9	1.6	0.0	1.1	31.9
RCP8.5C3 既往対策+適応策④	1.5	3.0	3.3	4.3	0.0	0.0	4.1	5.5	2.1	1.3	0.2	1.1	26.4
RCP8.5C3 既往対策あり	1.5	3.0	3.3	4.2	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.3	1.2	28.0
RCP8.5C3 既往対策なし	1.5	3.0	3.3	4.3	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.4	1.2	28.1
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

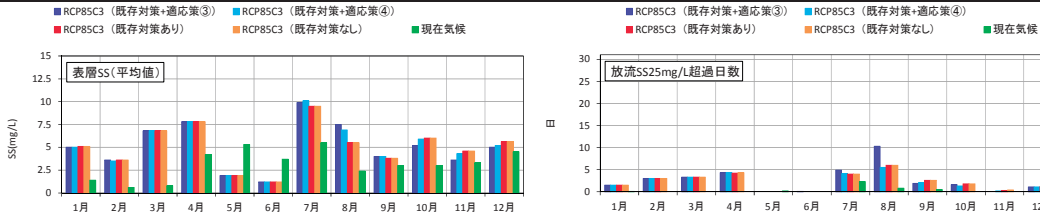


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較  
（左：表層 SS 月平均値、右：放流 SS25mg/L 超過日数）

【適応策】

清水バイパスの設置 <新規施設の設置>

【計算条件】	条件	理由・ねらい
	<p>【清水バイパスの設定】（適応策⑤）</p> <p>■バイパス取水位置 本川からの流入水をバイパスする。（四ッ谷川は濁度が高く、大越川からのバイパスは四ッ谷川を横断するため、本川から取水）</p> <p>■バイパス量 最大 13.6m<sup>3</sup>/s（バイパス元の河川流量が 13.6m<sup>3</sup>/s 未満の場合はバイパス量＝河川流量とする。）</p>	清水バイパスによりダム放流水の濁度を希釈する。

【効果の概要】

- **【現在気候との比較】**：現在気候と将来気候(RCP8.5\_C3：既往対策+適応策⑤)の比較によると、気候変動後に適応策実施による改善効果はあるものの、現在気候の状態まで改善を図ることは難しい。
- **【適応策実施前後による比較】**：将来気候(RCP8.5\_C3 既往対策あり)に対して適応策⑤を実施した前後の比較においては、放流 SS25mg/L 超過日数で年間 11 日程度改善される。

【予測計算結果】

放流SS25mg/L超過日数

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
RCP8.5C3 既往対策+適応策⑤	0.6	1.1	3.0	3.0	0.0	0.0	2.2	4.9	1.2	0.1	0.0	0.7	16.9
RCP8.5C3 既往対策あり	1.5	3.0	3.3	4.2	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.3	1.2	28.0
RCP8.5C3 既往対策なし	1.5	3.0	3.3	4.3	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.4	1.2	28.1
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

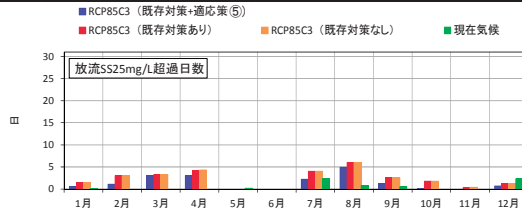


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（放流 SS25mg/L 超過日数）

表 5-15 水温の上昇（温水放流）に対する適応策の単一効果（寒河江ダム）

【適応策】	選択取水設備の運用見直し、可動範囲の拡張 <既往対策の改造・強化>																																																																							
【計算条件】	条件	理由・ねらい																																																																						
	<b>【選択取水設備の改造・運用見直し】（適応策⑥）</b> <b>■運用方法の変更</b> 取水位置決定に影響する目標水温等を、各ケースの流入水温に応じた値に修正※。 ※目標水温：予測計算により得られた気候変動後の期間内変動幅の上限値（温水を貯めない運用）	流入水温の変動範囲を超過しない水温層からの取水により、可能な範囲で温水放流を回避する。																																																																						
	<b>■設備の可動範囲変更</b> 選択取水位置下限 E.L.332m 以下の取水も可能とするように可動幅を拡張する。	有効に下層の冷水層を活用するため、選択取水施設の取水位置を変更する。																																																																						
【効果の概要】	> <b>【現在気候との比較】</b> ：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策⑥)の比較によると、気候変動後において適応策⑥の実施により現在気候より改善される。(温水放流日数が年間 5 日程度減少する) > <b>【適応策実施前後による比較】</b> ：将来気候(RCP8.5_C3_既存対策あり)に対して適応策⑥を実施した前後の比較においても、温水放流日数は年間 9 日程度減少する。 (選択取水設備を EL.332m 以下の取水も可能となるよう仕様変更し、流入水温変動範囲をできるだけ超過しない水温層から取水することにより、特に 7 月は適応策実施後に効果を発揮しやすい(温水放流日数が 3 日程度減少)。また、選択取水設備可動範囲を拡大したことによる冷水放流への影響はない。)																																																																							
【予測計算結果】	温水放流日数 (日) <table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>7月</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP8.5C3_既存対策+適応策⑥</td> <td>1.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.1</td> <td>1.0</td> <td>1.9</td> <td>2.9</td> <td>6.5</td> <td>16.1</td> <td>7.4</td> <td>3.5</td> <td>40.4</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3_既存対策あり</td> <td>1.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.2</td> <td>5.0</td> <td>3.3</td> <td>7.0</td> <td>18.0</td> <td>7.8</td> <td>3.1</td> <td>48.5</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5C3_既存対策なし</td> <td>1.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>3.3</td> <td>5.0</td> <td>3.3</td> <td>7.0</td> <td>18.0</td> <td>7.8</td> <td>3.1</td> <td>48.5</td> </tr> <tr> <td>現在気候</td> <td>5.8</td> <td>1.7</td> <td>0.1</td> <td>0.3</td> <td>0.6</td> <td>0.4</td> <td>1.2</td> <td>1.0</td> <td>5.8</td> <td>12.3</td> <td>11.0</td> <td>4.3</td> <td>44.5</td> </tr> </tbody> </table>		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	RCP8.5C3_既存対策+適応策⑥	1.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.9	2.9	6.5	16.1	7.4	3.5	40.4	RCP8.5C3_既存対策あり	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	RCP8.5C3_既存対策なし	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	5.0	3.3	7.0	18.0	7.8	3.1	48.5	現在気候	5.8	1.7	0.1	0.3	0.6	0.4	1.2	1.0	5.8	12.3	11.0	4.3	44.5
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																																																											
RCP8.5C3_既存対策+適応策⑥	1.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.9	2.9	6.5	16.1	7.4	3.5	40.4																																																											
RCP8.5C3_既存対策あり	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																																																											
RCP8.5C3_既存対策なし	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	5.0	3.3	7.0	18.0	7.8	3.1	48.5																																																											
現在気候	5.8	1.7	0.1	0.3	0.6	0.4	1.2	1.0	5.8	12.3	11.0	4.3	44.5																																																											
	図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（左：温水放流日数、右：冷水放流日数）																																																																							

### 5.3.2 適応策群による効果の検討（STEP2）

#### (1) 適応策群設定条件

各水質変化現象に対する単一の適応策の効果を確認した結果、寒河江ダムで設定する適応策群は、底層水質悪化、濁度の上昇、温水放流に対する適応策から構成することとした。

寒河江ダムでは、表 5-16に示すように、深層曝気施設、清水バイパスといった対策の新規設置、選択取水設備の改造及び運用の見直しといった既存の施設の活用を適応策群として設定した。底層水質悪化対策として高濃度酸素水供給施設による改善効果も確認されているが、深層曝気施設の強化と同程度の効果となることからコスト面を考慮し適応策群として設定していない。

表 5-16 寒河江ダムで設定した適応策群

水質変化現象	適応策群	ねらい
藻類増殖	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
底層水質悪化	<b>【深層曝気施設の新規設置】</b> 深層曝気装置を新規に設置し、運用開始を融雪出水後の5月に設定（運用時期：5～9月、散気量：80m <sup>3</sup> /h）	➤ 既存の施設が運用されていなかった4月及び夏季における底層のDOを改善させる。 ➤ 改善量の強化
濁度の上昇	<b>【清水バイパスの新規設置】</b> ・ 本川からの流入水をバイパスする。 ・ バイパス量は最大13.6m <sup>3</sup> /s（バイパス元の河川流量が13.6m <sup>3</sup> /s未満の場合はバイパス量＝河川流量とする。）	➤ 清水バイパスによりダム放流水の濁度を希釈する。
水温の上昇（温水放流）	<b>【選択取水設備の運用見直し・改造】</b> ・ 選択取水設備における目標水温等を、各ケースの流入水温幅の上限値を狙った値に修正（温水を貯めない運用） ・ 選択取水可動範囲の拡張	➤ 気候変動による水温上昇を考慮した取水基準の設定、および選択取水範囲を拡張することで温水放流を抑制する。

## (2) 適応策群の効果

適応策群設定による水質の変化について以下に整理した。

本検討で設定した、新規対策となる深層曝気施設および清水バイパスや既存の選択取水設備の改造および運用見直しといった適応策群は、寒河江ダムにおいて気候変動による影響が懸念される、底層水質悪化、濁度の上昇、温水放流に対して改善効果を発揮していること、また、その他の水質変化現象に対しても大きな変化が生じていないことから有効であると評価できる。

表 5-17 寒河江ダムにおける適応策群の水質改善効果

	変化の概要
藻類増殖	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 適応策群設定前後による変化は小さい</li> </ul>
底層水質悪化 (図 5-5参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C2)の既往対策+適応策群の比較によると、底層 DO2mg/L 低下日数は年間 55 日から 0 日に減少し、気候変動後において適応策群実施により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。</li> <li>➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C2)での適応策群設定前後の比較においても、底層 DO2mg/L 低下日数は年間 86 日減少する効果が確認される。</li> </ul>
濁度の上昇 (図 5-6参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群の比較によると、適応策群による効果はあるものの現在気候の状態まで改善するのは難しい。(放流 SS25mg/L 超過日数で現在気候は年間 6 日に対して、将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群は年間 18 日となる。)</li> <li>➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C3)での適応策群設定前後の比較においては、放流 SS25mg/L 超過日数は年間 10 日減少する効果が確認される。</li> </ul>
水温の上昇 (温水放流)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群の比較によると、温水放流日数は年間 49 日から 44 日に減少し、気候変動後において適応策群実施により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。</li> <li>➤ <b>【適応策群実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C3)での適応策群設定前後の比較においては、温水放流日数は年間 38 日減少する効果が確認される。</li> </ul>

底層DO 2.0mg/L低下日数

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	既存対策あり	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	
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	
将来気候	RCP2.6_C1	既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	16.9	21.1	13.6	0.8	56.9
		既存対策あり+適応策群	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
	RCP4.5_C1	既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	17.0	21.7	15.4	2.2	59.5
		既存対策あり+適応策群	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
	RCP6.0_C1	既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	17.0	23.5	16.9	3.0	66.3
		既存対策あり+適応策群	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
	RCP8.5_C1	既存対策あり	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
		既存対策あり+適応策群	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
	RCP8.5_C2	既存対策あり	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
		既存対策あり+適応策群	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
	RCP8.5_C3	既存対策あり	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
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3

- 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)

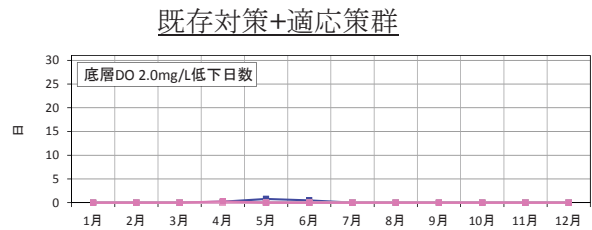
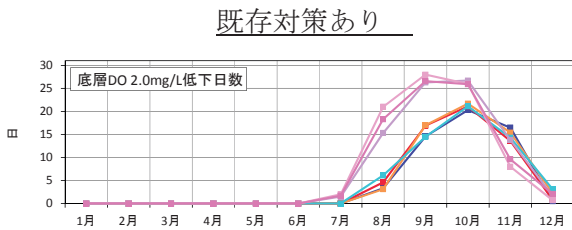


図 5-5 寒河江ダムにおける適応策群実施前後の底層 DO2.0mg/L 低下日数の変化

放流SS25mg/L超過日数

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	既存対策あり	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	
	既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.8	2.3	
将来気候	RCP2.6_C1	既存対策あり	0.0	0.6	0.8	0.3	0.0	0.0	2.6	0.7	0.0	0.1	0.3	0.1	5.4
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	1.4	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	2.7
	RCP4.5_C1	既存対策あり	0.1	0.0	0.1	1.5	0.2	0.0	3.0	2.6	3.9	2.5	2.4	0.8	17.2
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.1	1.0	0.2	0.0	1.8	1.8	1.6	1.1	0.9	0.1	8.7
	RCP6.0_C1	既存対策あり	1.5	0.1	1.7	0.8	0.2	0.9	5.7	2.3	1.8	1.2	3.1	2.0	21.4
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	1.0	0.7	0.1	0.4	3.0	1.7	0.9	1.0	1.3	0.0	10.2
	RCP8.5_C1	既存対策あり	0.9	2.4	1.0	2.4	0.0	0.0	2.3	1.0	3.2	1.6	1.4	0.0	16.3
		既存対策あり+適応策群	0.7	0.7	1.0	2.0	0.0	0.0	0.9	0.6	1.1	0.3	0.3	0.0	7.5
	RCP8.5_C2	既存対策あり	0.9	1.0	5.6	1.5	0.0	0.3	5.2	1.2	1.1	2.3	2.0	0.1	21.2
		既存対策あり+適応策群	0.1	0.2	2.3	0.8	0.0	0.1	2.8	1.0	0.8	0.9	0.5	0.0	9.5
	RCP8.5_C3	既存対策あり	1.5	3.0	3.3	4.2	0.0	0.0	4.0	6.0	2.6	1.8	0.3	1.2	28.0
		既存対策あり+適応策群	0.6	1.1	3.0	3.0	0.0	0.0	2.4	5.0	1.2	1.0	0.1	0.7	18.1

- 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)

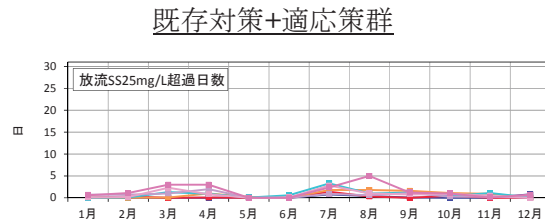
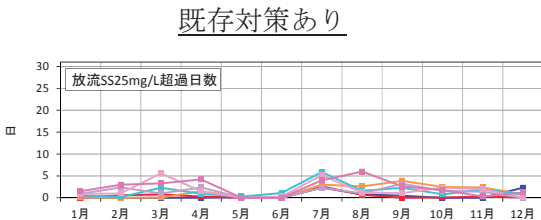


図 5-6 寒河江ダムにおける適応策群実施前後の放流 SS25mg/L 超過日数(20 力年平均)の変化



## 5.4 早明浦ダムにおける適応策群の検討

### 5.4.1 適応策の単一効果の検討（STEP1）

#### (1) 適応策の設定

早明浦ダムでは気候変動による水質変化の試算結果を踏まえ、冷温水放流について適応策を設定し、単一の効果を確認した。

表 5-18に示すとおり、早明浦ダムへの適用性を踏まえ、冷温水放流に対しては選択取水設備及び曝気循環による適応策を設定し、その効果について確認した。

表 5-18 単一の適応策の効果のまとめ（早明浦ダム）

現象	気候変動による変化・影響		適応策の選定				
	変化概要	影響度	適応策	適用性	選定	番号	
藻類増殖	影響は小さい	—	—	—	—	—	
底層水質悪化	影響は小さい	—	—	—	—	—	
濁度の上昇	影響は小さい	—	—	—	—	—	
水温の上昇 （冷温水放流）	気温上昇に伴う貯水池水温上昇および下流への温水放流化（表層水温は年平均3.4℃上昇し、温水放流は年間21日増加する。） また、選択取水設備の可動幅が限られているため、取水深が限定されており、水位低下時に利水放流設備まで取水深を急激に下げた場合に冷水放流が生じる。（年間最大23日増加する） （表 4-12参照）	A	選択取水設備	運用改善	現行の選択取水の運用ルールでは季節ごとに目標放流水温を定め、それより高い水温の層の水を選択取水しているが、将来気候においては目標放流水温が低く、冷水放流となっている時期がある。将来の気温上昇に合わせた目標水温を設定することで、4～5月の冷水放流が改善される可能性がある。また、冷水放流が改善されることで、以降の湖内の水温上昇抑制に繋がり、6～12月の温水放流も改善される可能性がある。施設改良が不要でコストはほとんどかからない。	○	適応策①
			選択取水設備	施設改善	選択取水位置の下限位置より水位が下回った際は、ダム低層から取水する利水放流が行われ、冷水放流が発生しているが、選択取水設備の可動範囲を拡張することで冷水放流が改善される可能性がある。既存施設の改良であり初期コストは押さえられる。	○	適応策②
			曝気循環	選択取水設備の下限位置より水位が下回った際に、ダム低層から取水する利水放流が行われ、冷水放流が発生しているが、曝気循環による低層と表層の温度差をあらかじめ小さくしておくことで、冷水放流が改善される可能性がある。既存施設改良に比べ初期コストが発生する。	○	適応策③、④	
			清水バイパス	貯水池への栄養塩の流入は減少するが、貯水池内の滞留時間が長くなり、水温が上昇するなど、藻類増殖がかえって増加する可能性がある。また、施設が大規模になり、初期コストも大きい。	×	—	
			噴水	湛水面積に対して、遮蔽面積が小さいため効果は小さい。また、藻類の殺傷効果も効果は小さいと考えられる。	×	—	

影響度 A：水質の変化が大きいと思われる現象  
影響度 B：水質の変化が小さいと思われる現象

#### (2) 単一の効果の試算結果

表 5-19に温水放流に対する各適応策の単一効果の試算結果を示す。

早明浦ダムでは気候変動の影響が大きい変化として、貯水池の水温上昇に伴う下流への温水放流の増加、また、下流への冷水放流の増加が挙げられるが、これに対して既存の選択取水設備の改造（可動幅拡張）及び運用見直しにより冷温水放流を抑制することが可能になる。

表 5-19 水温の上昇（冷温水放流）に対する適応策の単一効果（早明浦ダム）

【適応策】		選択取水設備の運用見直し、可動範囲の拡張 < 既往対策の改造・強化 >											
【計算条件】	条件		理由・ねらい										
	【計算条件】	【選択取水設備の運用見直し・改造】 ■ 運用方法の変更（適応策①） 取水位置決定に影響する目標水温等を、各ケースの流入水温に応じた値に修正※。 ※目標水温等：予測計算により得られた気候変動後の期間内変動幅の下限値（現状の温水温存方法を踏襲） ■ 設備の可動範囲変更（適応策②） ①に加えて、選択取水位置下限 E.L.290m から利水放流管取水工 E.L.262m に変更		流入水温の変動範囲を超過しない水温層からの取水により、可能な範囲で冷温水放流を回避する。 設備の可動範囲を拡張し、選択取水幅を増やす。									
【効果の概要】													
> 【 <b>現在気候との比較</b> 】：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策①または適応策②)の比較によると、気候変動後において適応策の実施により現在気候よりも改善される。（冷水放流日数では適応策①及び②ともに年間 22 日程度、温水放流では適応策①で年間 3 日程度、適応策②で年間 42 日程度改善される。） > 【 <b>適応策実施前後による比較</b> 】：将来気候(RCP8.5_C3 既往対策あり)に対して適応策①または適応策②を実施した前後の比較においては、冷水放流日数では適応策①及び②ともに年間 44 日程度、温水放流では適応策①で年間 18 日程度、適応策②で年間 57 日程度改善される。													
【予測計算結果】													
温水放流日数 (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
RCP8.5C3 既存対策+適応策①	20.1	6.9	0.2	0.2	0.1	1.2	2.9	7.1	14.6	29.7	29.8	30.4	143.2
RCP8.5C3 既存対策+適応策②	14.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	3.8	20.6	28.1	29.4	103.5
RCP8.5C3 既存対策あり	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
RCP8.5C3 既存対策なし	18.2	6.7	1.9	10.2	20.9	9.9	12.5	17.7	22.2	30.8	29.9	30.4	211.2
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
冷水放流日数 (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
RCP8.5C3 既存対策+適応策①	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	7.0	4.5	0.4	0.0	0.0	0.0	15.3
RCP8.5C3 既存対策+適応策②	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	5.9	4.2	2.0	0.1	0.0	0.0	14.9
RCP8.5C3 既存対策あり	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
RCP8.5C3 既存対策なし	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	9.5	5.5	1.2	0.0	0.0	0.0	22.4
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
■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策①: 目標放流水温下ねらい)   ■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策②: ①+選択取水範囲拡大)   ■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策③: 目標放流水温下ねらい)   ■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策④: ①+選択取水範囲拡大) ■ RCP8.5C3 (既存対策あり)   ■ RCP8.5C3 (既存対策なし)   ■ RCP8.5C3 (既存対策あり)   ■ RCP8.5C3 (既存対策なし) ■ 現在気候   ■ 現在気候													
図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（左：冷水放流日数、右：温水放流日数）													
【適応策】		曝気循環施設の設置 < 新規施設の設置 >											
【計算条件】	条件		理由・ねらい										
	【曝気施設の新規設定】 ■ 曝気施設の設定 水位固定（適応策③） 曝気施設の稼働時期は 6 月から 9 月とし、稼働位置は E.L.260m の地点とする。 ■ 曝気施設の設定 水深固定（適応策④） 曝気施設の稼働時期は 6 月から 9 月とし、稼働位置は水深 30m の地点とする。		選択取水位置下限 290m から利水放流管取水工 E.L.262m へ切り替わる際の冷水放流を防ぐため、設置位置は貯水位が 290m を低下した際に利水放流管取水口位置よりも下層に熱を引き込めるよう E.L.260m(適応策③)または水深 30m(適応策④)とした。										
【効果の概要】													
> 【 <b>現在気候との比較</b> 】：現在気候と将来気候(RCP8.5_C3：既往対策+適応策③または適応策④)の比較によると、いずれの適応策とともに現在気候の状態まで改善を図ることは難しい。 > 【 <b>適応策実施前後による比較</b> 】：将来気候(RCP8.5_C3 既往対策あり)に対して適応策③または適応策④を実施した前後の比較においては、適応策実施により年間の冷水放流日数は増加する結果となる。（曝気循環による底層部の冷水塊の混合により結果的に冷水放流が発生している。）													
【予測計算結果】													
冷水放流日数 (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
RCP8.5C3 既存対策+適応策③	0.0	0.0	0.0	13.0	18.0	18.8	17.1	5.1	1.5	0.0	0.0	0.0	73.7
RCP8.5C3 既存対策+適応策④	0.0	0.0	0.2	16.7	18.9	28.8	29.1	25.0	17.6	2.3	0.0	0.0	138.7
RCP8.5C3 既存対策あり	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
RCP8.5C3 既存対策なし	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	9.5	5.5	1.2	0.0	0.0	0.0	22.4
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
図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（冷水放流日数）													

## 5.4.2 適応策群による効果の検討（STEP2）

### (1) 適応策群設定条件

各水質変化現象に対する単一の適応策の効果を確認した結果、早明浦ダムで設定する適応策群は冷温水放流に対する適応策から構成することとした。

早明浦ダムでは、表 5-20に示すように、既存の選択取水設備運用の見直しまたは改造を適応策群として設定した。

表 5-20 早明浦ダムで設定した適応策群

水質変化現象	適応策群	ねらい
藻類増殖	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
底層水質悪化	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
濁度の上昇	・ 設定しない	➤ 気候変動による影響は小さい。
水温の上昇 (冷温水放流)	<u>【選択取水設備の運用見直し・改造】</u> ・ 選択取水設備における目標水温等を、各ケースの流入水温幅の下限值を狙った値に修正(温水を温存する運用(既往のルールも踏襲)) ・ 選択取水可動範囲の拡張 (E.L262m)	➤ 気候変動による水温上昇を考慮した取水基準の設定、および選択取水範囲を拡張することで冷温水放流を抑制する。

## (2) 適応策群の効果

適応策群設定による水質の変化を以下に整理した。

本検討で設定した、既存の対策となる選択取水設備の改造・運用見直しといった適応策群は、気候変動により影響が懸念される冷温水放流に対して改善効果を発揮していること、また、その他の水質現変化象に対しても大きな変化が生じていないことから有効であると評価できる。

表 5-21 早明浦ダムにおける適応策群の水質改善効果

変化の概要	
藻類増殖	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
底層水質悪化	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
濁度の上昇	➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
水温の上昇 (冷温水放流) (図 5-7参照)	<p>➤ <b>【現在気候との比較】</b>: 現在気候と将来気候(RCP8.5_C3)の既往対策+適応策群の比較によると、温水放流日数が年間 145 日から 104 日に減少し、冷水放流日数が年間 38 日から 15 日に減少しており、気候変動後において適応策群実施により現在気候よりも改善を図ることが可能となる。</p> <p>➤ <b>【適応策実施前後による比較】</b>: 将来気候(RCP8.5_C3)での適応策設定前後の比較においても、温水放流日数が年間 52 日、冷水放流日数が年間 39 日に減少する効果が確認される。</p>

温水放流日数		CASE												(日)	
現在気候	既往対策あり	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	
		既往対策あり+適応策群	23.0	6.2	0.9	0.0	0.4	1.0	3.1	7.5	21.2	28.5	28.4	24.9	145.0
将来気候	RCP2.6_C1	既往対策あり	17.6	5.0	0.2	0.1	0.1	0.8	4.1	12.3	22.0	29.5	26.8	26.5	145.0
		既往対策あり+適応策群	15.4	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.3	5.9	23.1	24.8	25.3	101.9
	RCP4.5_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	21.5	6.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	2.0	7.0	25.9	29.0	28.1	120.6
	RCP6.0_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	19.6	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.7	7.3	24.0	28.3	26.4	112.0
	RCP8.5_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	13.2	5.4	0.3	0.0	0.0	0.2	0.5	7.6	4.9	18.3	26.0	26.1	102.5
	RCP8.5_C2	既往対策あり	22.0	1.7	0.7	0.0	0.5	3.4	7.1	17.3	21.7	29.4	26.8	25.9	156.5
		既往対策あり+適応策群	19.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	2.2	5.8	21.5	23.8	24.0	98.7
RCP8.5_C3	既往対策あり	20.8	7.1	0.2	0.1	0.0	2.9	4.5	13.0	17.5	29.9	29.9	30.4	156.2	
	既往対策あり+適応策群	14.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	3.8	20.6	28.1	29.4	103.5	

冷水放流日数		CASE												(日)	
現在気候	既往対策あり	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	
		既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	5.2	15.6	12.4	3.2	0.5	0.0	0.0	37.6
将来気候	RCP2.6_C1	既往対策あり	0.0	0.1	0.4	1.6	1.5	9.4	17.3	6.2	1.2	0.1	0.0	0.0	37.9
		既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.4	9.4	6.0	1.8	0.1	0.0	0.0	19.3
	RCP4.5_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.5	9.0	6.7	2.8	0.1	0.0	0.0	22.6
	RCP6.0_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.0	7.1	5.3	1.6	0.0	0.0	0.0	17.4
	RCP8.5_C1	既往対策あり	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
		既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.7	1.9	3.0	8.8	4.2	2.8	0.3	0.0	0.0	21.7
	RCP8.5_C2	既往対策あり	0.1	0.0	0.1	5.0	12.5	16.6	6.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	43.7
		既往対策あり+適応策群	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	3.6	2.6	0.8	0.0	0.0	0.0	8.2
RCP8.5_C3	既往対策あり	0.0	0.0	0.0	7.9	14.2	16.7	11.9	2.4	0.5	0.0	0.0	0.0	53.5	
	既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	5.9	4.2	2.0	0.1	0.0	0.0	14.9	

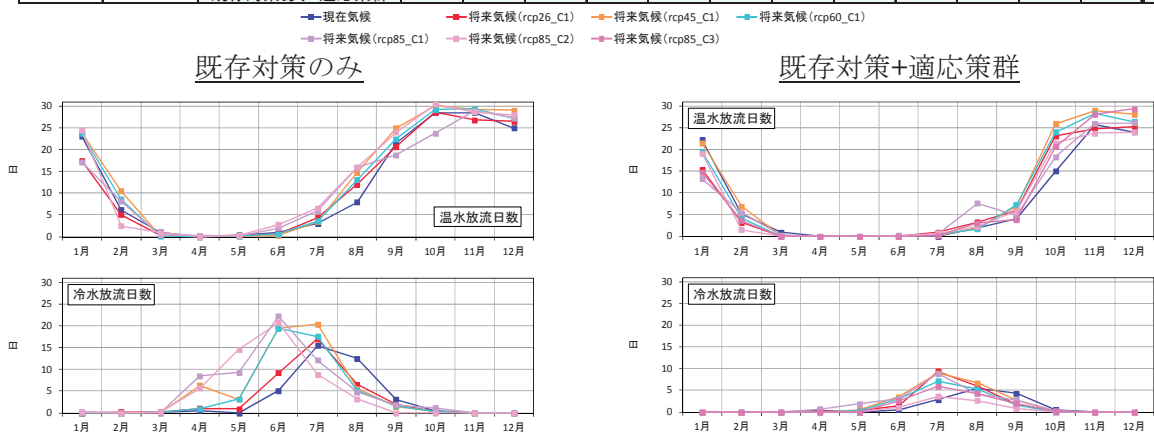


図 5-7 早明浦ダムにおける適応策群実施前後の冷水放流日数、温水放流日数の変化

## 5.5 ダム冷熱源の積極的な活用に関する補足検討

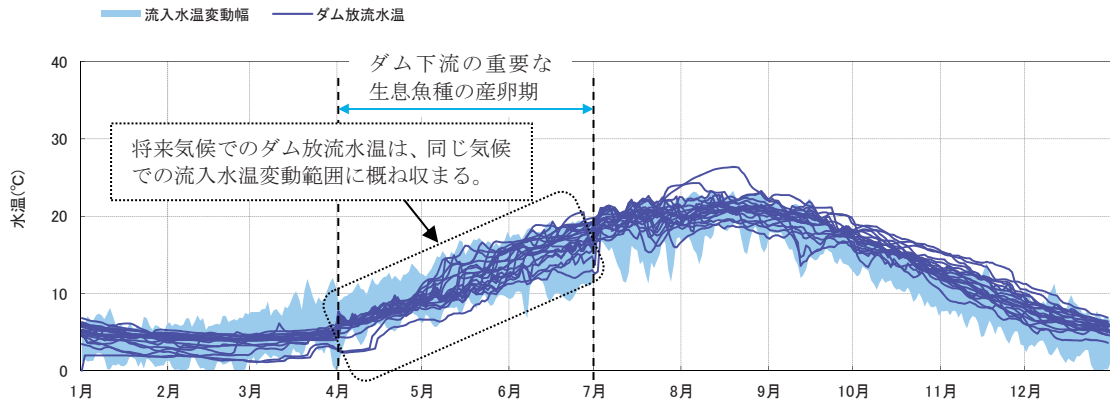
現在気候と将来気候を比較すると、上昇幅が最大のケースで見ると、各ダムとも気候変動により流入水温・放流水温が概ね3~4℃上昇している。これは、気候変動に伴う河川水温の上昇は、冷水魚等の河川に生息する生物に著しい影響を及ぼす可能性があることを示唆している。

この影響を緩和する可能性があるものとして、本研究では、ダムの底層の冷熱源に着目した。水深の深いダム貯水池は成層期には底層部に冷水塊を有する場合があります、これを計画的に放流することにより、気候変動によるダム下流河川の水温変化への適応策となることが期待される。本項では、このダム冷熱源の積極的な活用のケーススタディを行った。検討条件を表 5-22に示す。

表 5-22 適応策の検討条件

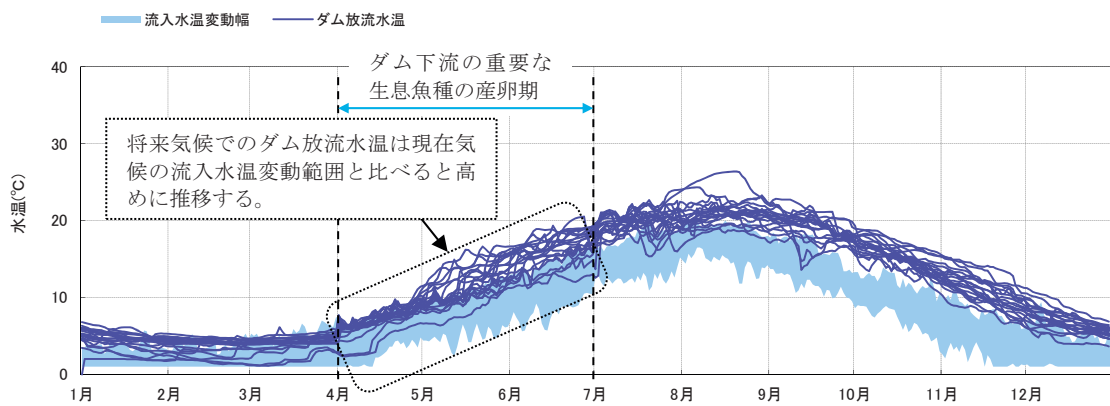
	条件	理由・ねらい
対象ダム	寒河江ダム	水深が大きく冷熱源の容量が大きい。
対象ケース	RCP8.5 C3	河川の水温上昇が全ケース中最大となる。
計算条件	<p>【選択取水による冷熱源の放流】</p> <p>選択取水設備の取水位置を、流入水温変動幅の上限を目標水温として設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・4~6月の取水位置を、ダム下流の生息魚種への影響を考慮し、現在気候の流入水温変動幅に基づいて設定する。</li> <li>・それ以外の月(7~11月)は対象ケースでの流入水温変動幅に基づく目標水温から設定する。</li> </ul>	<p>河江ダム下流に生息する魚の重要種として、スナヤツメ、エゾウグイ、カジカが挙げられている。これらの産卵期は4~6月であるが、将来気候でのダム放流水温を、現在気候の水温変動範囲と比較すると、図5-8に示すように、気候変動に伴う影響により水温が高い。そこで、繁殖にとって重要となる産卵期(4~6月)における水温環境を現在気候レベルに維持することを目的として仮定する。</p>

<同じ気候での流入水温幅と比較した場合>



※ダム放流水温は将来気候(RCP8.5C3)の流入水温変動幅の上限を狙って選択取水したケース

<現在気候での流入水温幅と比較した場合>



※ダム放流水温は将来気候(RCP8.5C3)の流入水温変動幅の上限を狙って選択取水したケース

図 5-8 流入水温変動範囲と放流水温の関係

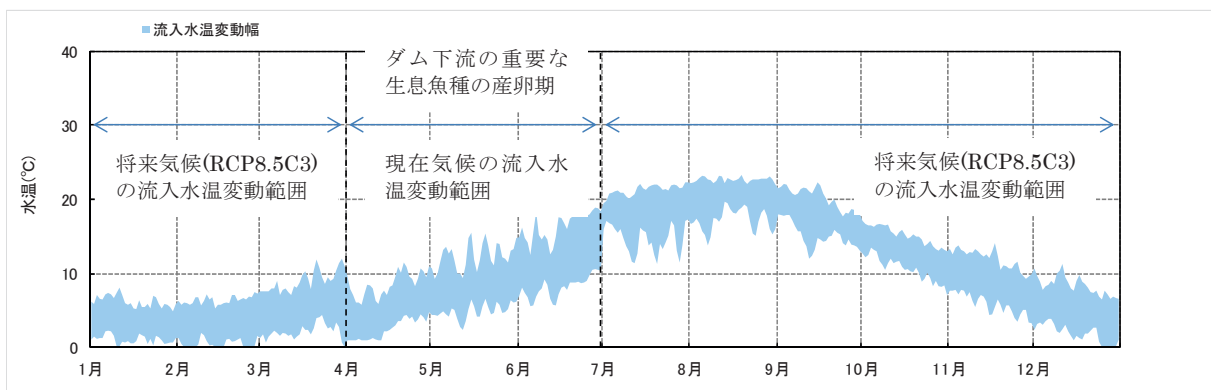


図 5-9 目標水温設定に用いた流入水温変動範囲

## (1) 検討結果

表 5-24、表 5-25に 4～6 月における現在気候の流入水温変動範囲の超過状況（日数・温度）を、冷熱源活用した場合としない場合について比較整理した。ここで、冷熱源活用なしの場合は、将来気候（RCP8.5C3）での流入水温幅に基づいて通年の取水位置を設定したケースとなる。また、図 5-10に、ダム冷熱源活用時の流入水温変動範囲と放流水温の関係を図示した。

これらの結果を考察すると、表 5-23のとおり。

表 5-23 冷熱源活用策による水質現象の変化

水質指標	冷熱源活用あり・なしの比較
4～6 月の 温水放流日数 （放流水温が現在気候の流入水温変動幅を超える日数）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 20 ヶ年平均の 4～6 月の温水放流日数では、冷熱源活用なしでは 56 日、冷熱源活用ありでは 49 日であり、7 日減少した。</li> <li>・ 補給による貯水位低下により冷熱源が十分でない年もあるため、冷熱源活用の効果が年によって異なる。最大では 41 日の改善効果が見られる。</li> <li>・ 2088 年など稀に温水放流が増加するケースが見られる。4～5 月で水温の低い水を放流したため、6 月に温水化したのが要因と考えられる。</li> </ul>
4～6 月の 温水放流温度 <sup>1)</sup> （温水放流時の超過温度）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 20 ヶ年平均値は、冷熱源活用なしでは 1.6℃、冷熱源活用ありでは 1.5℃であり、0.1℃減少した。</li> <li>・ 補給による貯水位低下により冷熱源が十分でない年もあるため、冷熱源活用の効果が年によって異なる。最大では 1.2℃の改善効果が見られるが、全体的には温水放流温度の改善は小さい。</li> </ul>
総括	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 選択取水によって、ダム下流の重要魚種の産卵期である 4～6 月において、ダム下流の水温変化を現在気候の水温変化に近づけることができる可能性がある。ただし、冷熱源は有限であるため、現在気候と比較した温水化を完全には解消できない可能性もある。</li> <li>・ 補給による貯水位低下によって冷熱源がなくなる年もあり、ダムの冷熱源を活用したダム下流の水温上昇抑制の効果は年によって異なることが予測される。しかし、ダムの冷熱源を活用することにより、流況によっては、気候変動に伴う河川水温の上昇が魚類の繁殖に及ぼし得る影響を緩和できる可能性はある。</li> </ul>

1) 温水放流時における放流水温と現在気候の流入水温変動範囲（最大値）の差

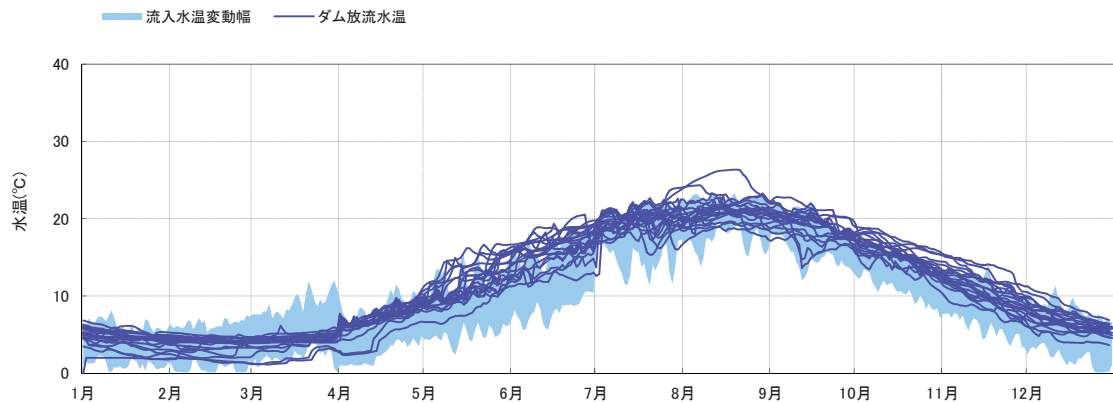
表 5-24 現在気候の流入水温変動範囲に基づく温水放流日数

	冷熱源活用あり			冷熱源活用なし			冷熱源活用あり 4～6月	冷熱源活用なし 4～6月	冷熱源活用による 温水放流改善日数
	4月	5月	6月	4月	5月	6月			
2080	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2081	0	0	16	0	6	12	16	18	2
2082	2	1	21	3	3	29	24	35	11
2083	1	6	0	6	10	5	7	21	14
2084	21	29	29	23	26	29	79	78	-1
2085	16	13	22	24	14	14	51	52	1
2086	11	20	30	14	20	30	61	64	3
2087	1	3	21	1	21	30	25	52	27
2088	15	23	30	21	25	15	68	61	-7
2089	7	20	18	14	24	25	45	63	18
2090	11	30	30	14	30	30	71	74	3
2091	1	4	29	1	9	30	34	40	6
2092	12	30	30	17	30	30	72	77	5
2093	14	26	30	17	24	30	70	71	1
2094	18	31	30	26	27	30	79	83	4
2095	5	6	30	5	8	30	41	43	2
2096	10	14	0	12	23	30	24	65	41
2097	4	9	30	4	14	30	43	48	5
2098	18	21	27	23	19	30	66	72	6
2099	20	31	30	25	25	30	81	80	-1
2100	17	27	30	16	29	30	74	75	1
平均	10	16	23	13	18	25	49	56	7

表 5-25 現在気候の流入水温変動範囲に基づく温水放流温度

	冷熱源活用あり			冷熱源活用なし			冷熱源活用あり 4~6月	冷熱源活用なし 4~6月	(°C) 冷熱源活用による 温水放流改善日数
	4月	5月	6月	4月	5月	6月			
2080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2081	0.0	0.0	1.9	0.0	0.4	0.6	1.9	0.5	-1.4
2082	0.2	0.6	0.6	0.3	0.5	0.9	0.6	0.8	0.2
2083	0.3	0.4	0.0	0.4	0.4	1.4	0.3	0.6	0.3
2084	0.8	1.4	2.7	1.8	1.4	2.6	1.7	2.0	0.3
2085	0.6	0.8	0.4	0.9	0.7	1.4	0.6	1.0	0.4
2086	0.2	1.0	2.9	0.3	1.1	2.9	1.8	1.8	0.0
2087	0.1	0.4	1.2	0.3	0.9	2.4	1.1	1.8	0.7
2088	0.5	2.1	2.6	1.4	0.9	1.5	1.9	1.2	-0.7
2089	0.3	1.5	1.5	0.4	1.0	1.5	1.3	1.1	-0.2
2090	0.5	1.5	1.6	0.8	1.5	2.1	1.4	1.6	0.2
2091	0.1	0.5	1.7	0.2	1.0	1.9	1.5	1.7	0.2
2092	0.5	2.9	2.9	0.8	2.9	3.1	2.5	2.5	0.1
2093	0.4	1.6	2.6	0.8	1.6	2.7	1.8	1.8	0.1
2094	0.5	3.3	2.2	1.3	2.9	2.8	2.2	2.4	0.1
2095	0.4	2.2	3.3	0.7	1.2	3.0	2.8	2.4	-0.4
2096	0.3	0.5	0.0	0.5	0.9	2.5	0.4	1.6	1.2
2097	0.1	3.3	2.9	0.3	1.8	3.0	2.8	2.4	-0.3
2098	0.5	1.0	1.0	0.7	1.1	1.3	0.9	1.1	0.2
2099	0.6	3.0	2.5	1.6	3.2	2.8	2.2	2.6	0.3
2100	0.4	2.2	2.8	0.7	2.4	2.9	2.0	2.3	0.2
平均	0.3	1.4	1.8	0.7	1.3	2.1	1.5	1.6	0.1

温水放流温度： 温水放流時における放流水温と現在気候の流入水温変動範囲（最大値）の差



※ダム放流水温は4~6月のみ現在気候の流入水温変動幅の上限を狙って選択取水したケース

図 5-10 流入水温変動範囲と放流水温の関係（ダム冷熱源活用時）



## 6. 気候変動による水質変化と適応策のまとめ

本研究では、4つのケーススタディダム（釜房ダム、耶馬溪ダム、寒河江ダム、早明浦ダム）を対象として、RCP シナリオに基づく気候モデルの出力結果をもとに気候変動による水質変化を予測するとともに、影響が大きいと判断される現象に対して有効となる適応策の効果を一例として試算した。本研究により得られた、ケーススタディダムにおける知見をまとめると以下のとおり。

### 【藻類増殖】

（気候変動による水質変化の予測）

- ケーススタディダムにおいては、気候変動により、平均年降水量はやや増減するものの、気温上昇による蒸発散量も増大するため、平均年総流入量が顕著な増加を示すケースはほとんどない。そのため、流入負荷量が顕著に増加するケースもほとんどないと考えられ、全体的には、藻類増殖に顕著な変化は見られない。ただし、釜房ダム、耶馬溪ダムにおいては、気温上昇に伴う水温上昇により藻類増殖期が早期化・長期化する場合が見られる。

（適応策）

- このような藻類増殖に対する適応策としては、既設の曝気循環施設が有効であり、更には、釜房ダムでは散気量の増量、耶馬溪ダムで曝気開始時期の前倒し及び散気量増量により、効果が増すと考えられる。

### 【底層水質悪化】

（気候変動による水質変化の予測）

- ケーススタディダムのうち耶馬溪ダム、寒河江ダムにおいては、気候変動により、水温上昇に伴う有機物分解のための酸素消費量が増加し、底層の貧酸素化の進行が見られる。

（適応策）

- このような底層水質悪化に対する適応策としては、深層曝気施設や高濃度酸素水供給施設が有効と考えられる。

### 【濁度の上昇】

（気候変動による水質変化の予測）

- ケーススタディダムのうち寒河江ダムにおいては、気候変動により、発生頻度は低いダムへの流入量規模の増大やダムの流出土砂の特性から、濁度の上昇が見られる。

（適応策）

- このような出水に伴う濁度の上昇に対する適応策としては、選択取水設備の効果は限定的と見られ、清水バイパスのような新規施設の検討も有効と考えられる。

### 【水温の上昇】

（気候変動による水質変化の予測）

- ケーススタディダムにおいては、気候変動により、気温上昇に伴って貯水池内水温が上昇するが、ダム流入水温も上昇するため、ダムの流入水温変動幅に対する現状の温水放流日数からの顕著な増加は見られない。ただし、耶馬溪ダム、早明浦ダムにおいては、選択取水設備の現状の運用ルールを継続した場合、若干の冷温水放流の増加が見られる。

（適応策）

- このような冷温水放流の増加に対する適応策としては、選択取水設備の運用ルールを気候変動による流入水温の変動等に対して柔軟なものに変更することが有効と考えられる。

## 7. 本研究における留意事項

本研究では、4つのケーススタディダムを対象として、各ダムにおける気候変動による水質影響の試算および適応策の検討を行った。ここでは、これらの検討結果を取り扱う上での留意事項を整理した。

### 7.1 検討の不確実性

本研究では、気候変動予測モデルの出力結果を、流出・利水モデル及び水質解析モデルに入力することで検討を進めている。しかし、気候変動予測モデルの出力結果は、現在気候を正確には再現できておらずバイアス補正を行った上で使用している。また、流出・利水モデル及び水質解析モデルは、例えば、貯水池の運用や植物プランクトンの消長を必ずしも正確には再現できておらず、解析誤差を有している。更には、気候変動シナリオは幅をもって複数のシナリオが予測されており、本検討結果についても、このような不確実性を有する。

### 7.2 適応策の設定手法

本研究では、気候変動予測モデルの現在気候（1984年9月～2004年8月）と将来期間（2080年9月～2100年8月）の水質の変化分の解消を適応策と捉え、水質改善対策を設定し、効果を試算した。しかしながら、そもそもいつ頃の状態を目標にするのか、また、適応の程度、適応策の実現可能性、適応策間の優先順位等も適応策の設定に考慮すべき事項となる。更には、ダム貯水池においては、ダム設置前の河川から環境が変化していること、現状の水質も良好と言えない場合があることも、適応策の設定の考慮事項となる。更には、水温については現在気候まで適応させることは、費用やエネルギーの面からは困難である可能性が高い。本研究で設定した適応策は、こうした考慮事項が多々ある中での一ケースとして設定したものである。

### 7.3 ケーススタディダムの偏位性

本研究では、ダム貯水池の代表的な水質変化現象である、「藻類増殖」、「底層水質悪化」、「濁度の上昇」、「冷温水放流」の気候変動による変化を幅広く検討する観点から、釜房ダム、耶馬溪、寒河江ダム、早明浦ダムを選択している。しかしながら、これら4ダムが全国のダムの傾向を網羅するものではなく、例えば、濁度の上昇に対するフェンスによる適応策など、本研究で選定したケーススタディダムへの適用性の観点から棄却した対策についても、他ダムにおいては効果を発揮する可能性がある。

### 7.4 予測計算における流入負荷量条件

本研究では、予測計算におけるダムへの流入負荷量は、RCPシナリオに基づく気候変動予測モデル出力値を流出・利水モデルに入力して算出した流入量データと、実績データから作成したL~Q式（流量~負荷量関係式）により算出している。将来のダム流域における負荷量条件は、植生等の自然環境条件や、上流域の人口や産業等の社会環境条件によって変化することも想定されるが、本研究ではそうした流域での負荷量条件の将来的変化を考慮していない。

### 7.5 ダム冷熱源の積極的な活用

本研究では、気候変動による「ダム貯水池」での水質への影響や適応策の検討を主目的としたが、水深の深いダム貯水池は成層期には底層部に冷水塊を有する場合があります、これを計画的に放流する

ことにより、通年は困難であっても一部期間において、気候変動によるダム下流河川の水温上昇への適応策となる可能性が考えられる。そこで本研究においては、冷熱源として優位な水深の大きい寒河江ダムを例に、気候変動による気温上昇が最も大きく予測される RCP8.5 のケースで、4月から6月の期間についてその可能性を検討した。

その結果、当該期間全体について現在気候の水温変動範囲まで放流水温を毎年低下させることは困難であったが、流況によって冷熱源が豊富な年や、より期間を限定して見ると、その効果が見てとれるものであった。この1ケースの試算のみで普遍的な結論を導き出すことはできないが、気候変動による河川水温の上昇が、冷水魚等の河川に生息する生物に著しい影響を及ぼす可能性を考慮すると、貴重な冷熱源としてダムを活用する気候変動適応策についても、更なる検討が望まれる。

## 参考文献

- 1) 「ダム管理フォローアップ検討業務」,国土交通省東北地方整備局,2011
- 2) 「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ついて」,2014.6, 環境省
- 3) 「WEP モデル解説書」,土木研究所,水工研究グループ
- 4) 「連続成層中の Bubble Plume の挙動について」土木学会論文集 第 411 号/II-12, P.55~62,1989
- 5) 「アオコの計量と発生状況, 発生機構—アオコ指標検討会資料—」国立環境研究所
- 6) 「曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)」平成 17 年 10 月版 国土交通省河川局河川環境課
- 7) 「上水道における藻類障害 安全で良質な水道水を求めて」社団法人日本水道協 技報堂出版
- 8) 「農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書」農林振興局 農村環境課 H24.3 月
- 9) 「貧酸素水塊 現状と対策」生物研究社
- 10) 藤本ら、「全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係」水環境学会誌、第 18 巻 第 11 号 901-908 1995)
- 11) OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters. Vollenweider, R.A. & J.Kerekes,Synthesis Report(1980)
- 12) 矢挽ら、「かび臭による水質障害について— 既往知見のレビュー—」北海道開発土木研究所月報No. 615 号 2004 年 8 月
- 13) 井芹 「ダム貯水池における淡水赤潮とアオコの発生機構及び対策について」九州技報第 23 号、1998.7
- 14) 天野邦彦, 安田佳哉, 鈴木宏幸: 多目的ダム貯水池の水質と流入河川・貯水池特性との関連について, ダム工学, 10(2),2000
- 15) B Y Q 水環境レポート - 琵琶湖・淀川の水環境の現状— 平成 26 年 2 月 公益財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構
- 16) 多田ら「トリハロメタンの検出と低減化技術」富士時報 Vol.71,No.6 1998
- 17) 「過マンガン酸カリウム消費量と全有機炭素の関係について」平成 14 年度厚生科学研究・分担研究報告書「WHO 飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究」
- 18) 小澤ら、「長野県内のいくつかの湖沼水のトリハロメタン生成能」長野県環境保全研究所研究報告 1: 1-8(2005)
- 19) 工藤ら、「ダム貯水池におけるフォルミディウムとかび臭」水文/水資源学会誌 Vol.17,No.4 2004
- 20) 「湖沼工学」岩佐義朗編著 山海堂
- 21) 「上水道における藻類障害 安全で良質な水道水を求めて」社団法人日本水道協会 技報堂出版
- 22) 丸茂・横田、「貧酸素水塊の形成と生物影響に関する文献調査」海洋研研報、No.15、1 - 21、2012
- 23) 小倉紀雄 編 (1993) 東京湾—100 年の環境変遷—, pp47-52, 恒星社厚生閣
- 24) 「二瀬ダム貯水池の貯留水の変色について 記者発表資料」平成 21 年 9 月 14 日 国土交通省関東地方整備局 二瀬ダム管理所
- 25) 湖沼環境調査指針(社)日本水質汚濁研究協会編 公害対策技術同友会
- 26) 水産用水基準 (2005 年版) について  
[http://ay.fish-jfrca.jp/kiban/kankyou/hourei/yousui/suisan\\_kijyun.html](http://ay.fish-jfrca.jp/kiban/kankyou/hourei/yousui/suisan_kijyun.html)
- 27) 天野「河川環境における変動の把握とその評価」国土技術政策総合研究所(2009.8)
- 28) 有機栽培技術の手引 [水稻・大豆 等 編]平成 24 年 3 月 (財)日本土壌協会
- 29) 「肱川水系山鳥坂ダム建設事業 環境影響評価書」平成 20 年 3 月 肱川水系山鳥坂ダム建設事業 国土交通省四国地方整備局

-----  
国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 8 5 6      August 2015

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

-----  
本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課    TEL 029-864-2675