

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。

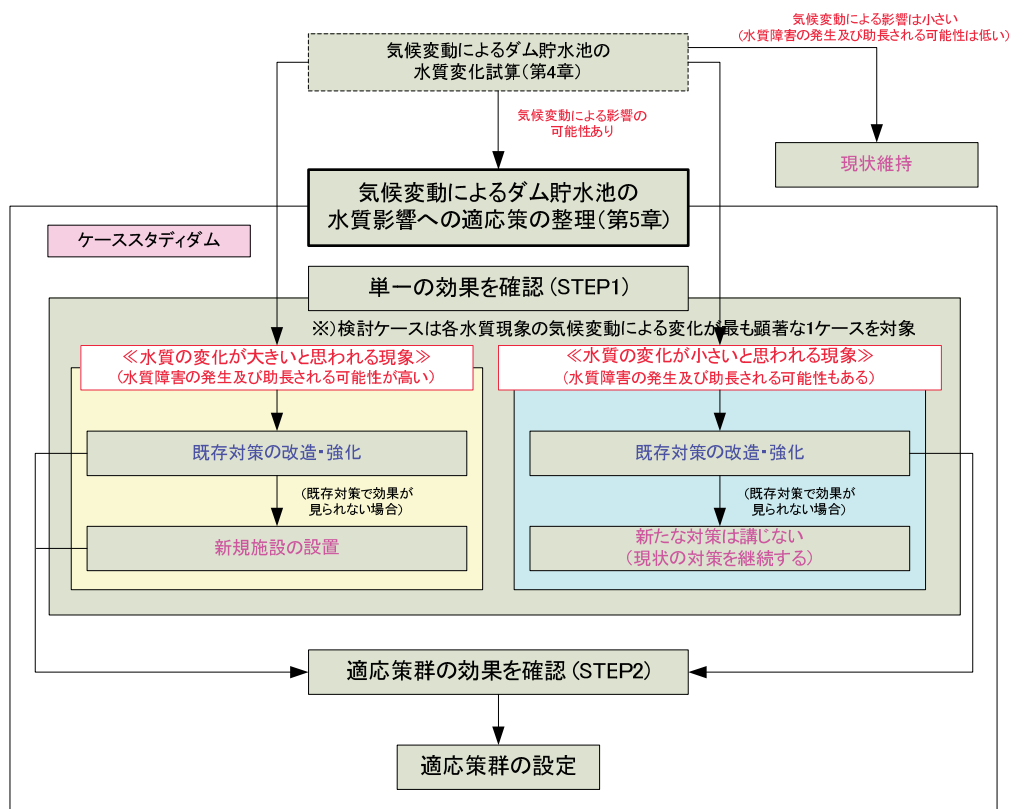


図 5-1 適応策群の検討フロー

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																																																																																																																																																																						
	【曝気循環施設の強化】（適応策①） ■曝気散気量の増加 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。 ■曝気位置をより下層に下げる 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】	▶ 【現在気候との比較】 ：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。 ▶ 【適応策実施前後による比較】 ：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																																																																						
	【取水施設の改造】（適応策②） ■運用方法の変更 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】 ▶ 【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。 ▶ 【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																																																																						
	【曝気循環施設の強化】（適応策③） ■曝気散気量 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。 ■曝気位置 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】 ▶ 【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。 ▶ 【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)	【選択取水設備の改造・運用見直し】 ・ 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。
	【浅層曝気循環施設の強化】 ・ 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)	➤ 【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。 ➤ 【適応策群実施前後による比較】 ：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。

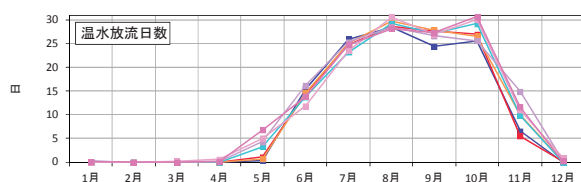
温水放流日数		CASE												(日)	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
現在気候	既存対策あり	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	15.5	25.9	28.5	24.4	25.6	6.6	0.0	127.0	
	既存対策あり+適応策群	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	2.8	13.6	26.0	23.4	25.7	6.7	0.0	98.3	
将来気候	RCP2.6_C1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	14.5	24.7	28.6	27.6	27.0	5.5	0.2	129.1	
		既存対策あり+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

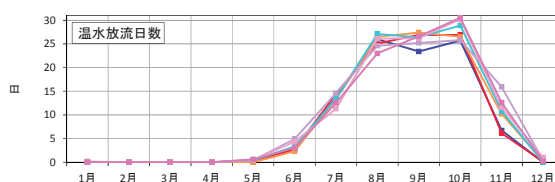


図 5-2 釜房ダムにおける適応策群実施前後の温水放流日数の変化

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、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
	【浅層曝気循環施設の運用変更・強化】 ■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

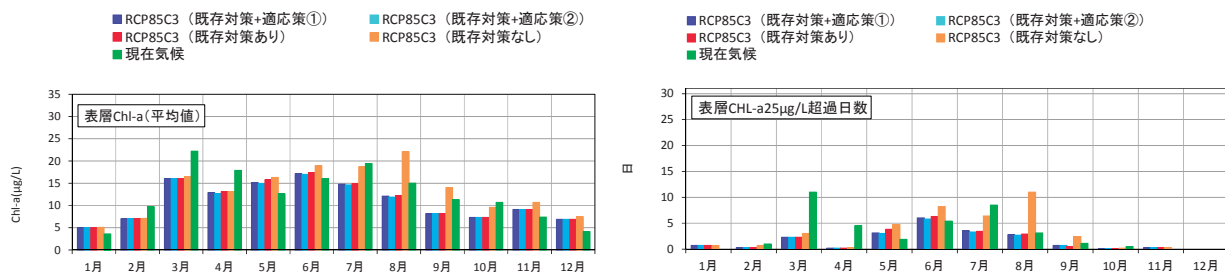


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較
 (左：表層 Chl-a 月平均値、表層 Chl-a25 μg/L 超過日数)

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 ³ /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																																																																																							
	<p> ■ RCP85C3 (既存対策+適応策③) ■ RCP85C3 (既存対策+適応策④) ■ RCP85C3 (既存対策+適応策⑤) ■ RCP85C3 (既存対策あり) ■ RCP85C3 (既存対策なし) ■ 現在気候 </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（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											
	【選択取水設備の運用変更】（適応策⑥） 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】													
> 【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） > 【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	0.0	0.0	0.0	0.1	8.1	13.6	13.1	9.7	3.0	48.2

冷水放流日数

温水放流日数

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	【浅層曝気循環施設の運用時期見直し】 ・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	【深層曝気施設の運用時期見直し・強化】 ・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)	【選択取水設備の運用見直し】 ・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	➤ 【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。 ➤ 【適応策群実施前後による比較】 ：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。
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)	➤ 【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。 ➤ 【適応策群実施前後による比較】 ：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。

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	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.4	9.3	3.9	0.0	0.5	18.9	
	既存対策あり+適応策群	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	
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	0.4	6.0	11.2	6.0	0.1	0.3	24.0
		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	0.8	0.0	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	3.7	9.8	9.3	0.1	0.0	25.0
		既存対策あり+適応策群	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	RCP6.0_C1	既存対策あり	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
		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	0.4	4.6	0.6	0.0	0.5	8.3	17.3	14.9	1.2	0.0	47.9
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	RCP8.5_C2	既存対策あり	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
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
	RCP8.5_C3	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
		既存対策あり+適応策群	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.8

■ 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

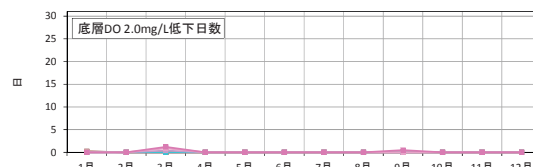
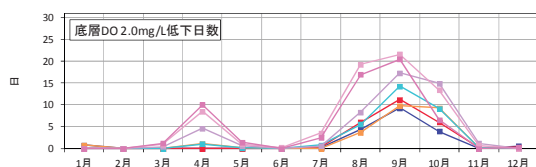


図 5-3 耶馬溪ダムにおける適応策群実施前後の底層 2.0mg/L 低下日数の変化

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
		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
	RCP4.5_C1	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
		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
	RCP6.0_C1	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
		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
	RCP8.5_C1	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
		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
	RCP8.5_C2	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
		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
RCP8.5_C3	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	
		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	9.8	6.1	48.9	
	RCP4.5_C1	既存対策あり	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	9.7	10.7	17.3	13.0	3.2	54.2	
		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
	RCP6.0_C1	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
		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
	RCP8.5_C1	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
		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
	RCP8.5_C2	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
		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
RCP8.5_C3	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

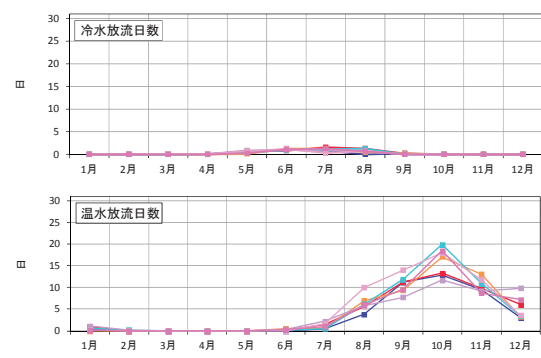
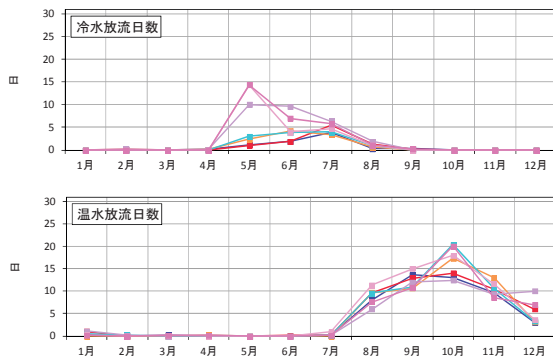


図 5-4 耶馬溪ダムにおける適応策群実施前後の冷水放流日数の変化

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 ³ /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】													
> 【 現在気候との比較 】: 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) > 【 適応策実施前後による比較 】: 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。													
【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	85.5
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	85.7
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	55.0

■ RCP8.5C1 (既往対策+適応策①)	■ RCP8.5C1 (既往対策+適応策②)
■ RCP8.5C1 (既往対策あり)	■ RCP8.5C1 (既往対策なし)
■ 現在気候	

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】	<p>条件</p> <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>理由・ねらい</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

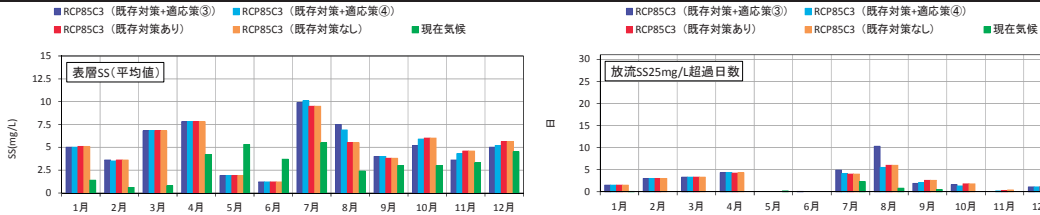


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較
（左：表層 SS 月平均値、右：放流 SS25mg/L 超過日数）

【適応策】

清水バイパスの設置 <新規施設の設置>

【計算条件】	<p>条件</p> <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必要があるため、本川から取水）</p> <p>■バイパス量 最大 13.6m³/s（バイパス元の河川流量が 13.6m³/s 未満の場合はバイパス量＝河川流量とする。）</p>	<p>理由・ねらい</p> <p>清水バイパスによりダム放流水の濁度を希釈する。</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：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

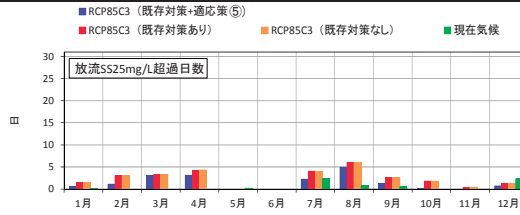


図 既存対策・適応策の有無による水質指標（月統計値）の比較（放流 SS25mg/L 超過日数）

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											
	【選択取水設備の改造・運用見直し】（適応策⑥） ■運用方法の変更 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） ■設備の可動範囲変更 選択取水位置下限 E.L332m 以下の取水も可能とするように可動幅を拡張する。	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。 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】													
> 【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） > 【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)													
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

■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策⑥) ■ RCP8.5C3 (既存対策あり) ■ RCP8.5C3 (既存対策なし) ■ 現在気候

■ RCP8.5C3 (既存対策+適応策⑥) ■ RCP8.5C3 (既存対策あり) ■ RCP8.5C3 (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：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	【深層曝気施設の新規設置】 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 ³ /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	【清水バイパスの新規設置】 ・ 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 ³ /s（バイパス元の河川流量が13.6m ³ /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）	【選択取水設備の運用見直し・改造】 ・ 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"> ➤ 適応策群設定前後による変化は小さい
底層水質悪化 (図 5-5参照)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 【現在気候との比較】: 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。 ➤ 【適応策群実施前後による比較】: 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。
濁度の上昇 (図 5-6参照)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 【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。) ➤ 【適応策群実施前後による比較】: 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。
水温の上昇 (温水放流)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 【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。 ➤ 【適応策群実施前後による比較】: 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。

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	
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)

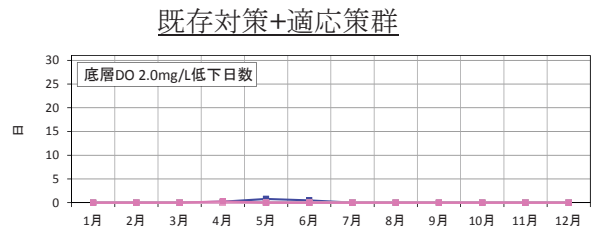
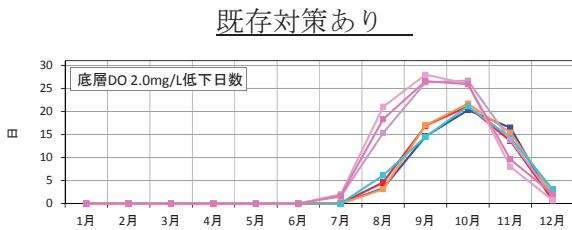


図 5-5 寒河江ダムにおける適応策群実施前後の底層 DO2.0mg/L 低下日数の変化

放流SS25mg/L超過日数

(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	0.1	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)

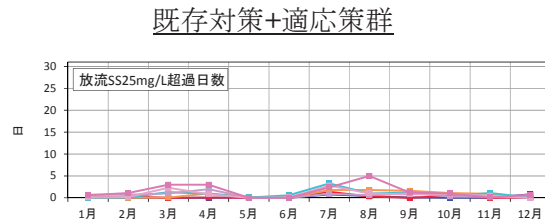
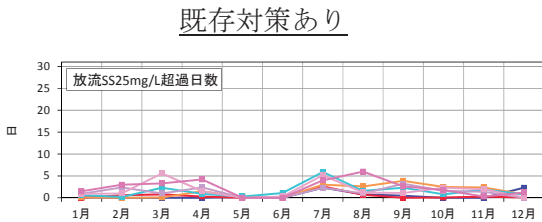


図 5-6 寒河江ダムにおける適応策群実施前後の放流 SS25mg/L 超過日数(20 力年平均)の変化

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值（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】													
▶ 【 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。） ▶ 【 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】													
▶ 【 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。 ▶ 【 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>【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>➤ 【適応策実施前後による比較】: 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)
		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	既往対策あり	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
	既往対策あり+適応策群	22.2	5.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.1	15.0	25.7	24.0	99.0
将来気候	RCP2.6_C1	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
		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	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
		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	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
		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	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
		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	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
		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	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	
	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)
		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	既往対策あり	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
	既往対策あり+適応策群	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	2.9	5.4	4.3	0.5	0.0	0.0	13.9
将来気候	RCP2.6_C1	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
		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	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
		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	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
		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	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
		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	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
		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	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	
	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	

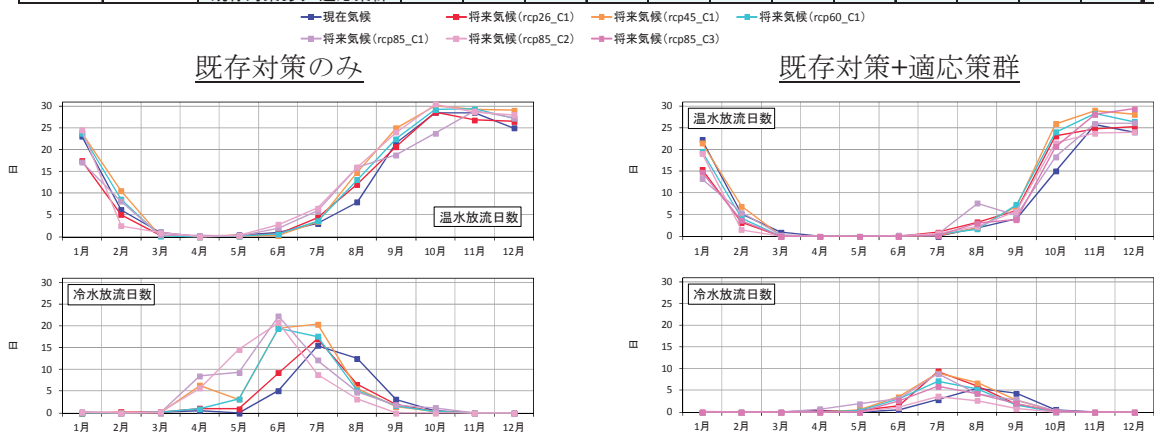


図 5-7 早明浦ダムにおける適応策群実施前後の冷水放流日数、温水放流日数の変化

5.5 ダム冷熱源の積極的な活用に関する補足検討

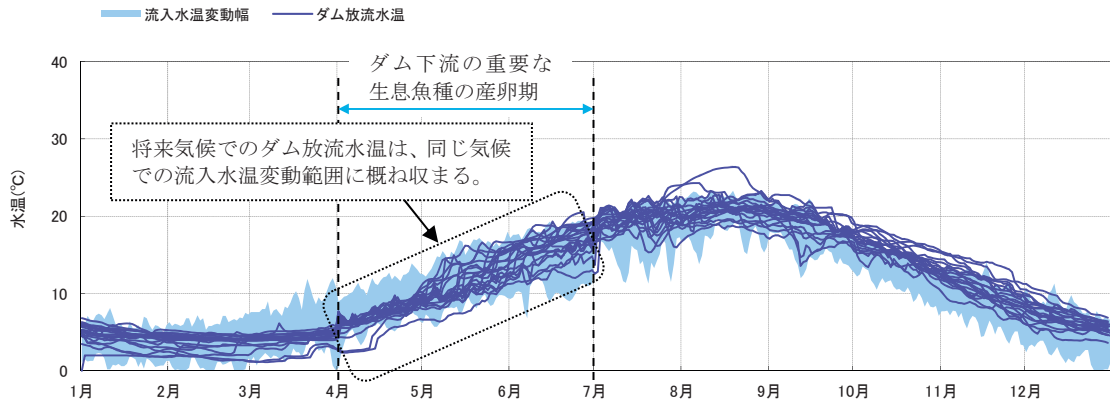
現在気候と将来気候を比較すると、上昇幅が最大のケースで見ると、各ダムとも気候変動により流入水温・放流水温が概ね3~4℃上昇している。これは、気候変動に伴う河川水温の上昇は、冷水魚等の河川に生息する生物に著しい影響を及ぼす可能性があることを示唆している。

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

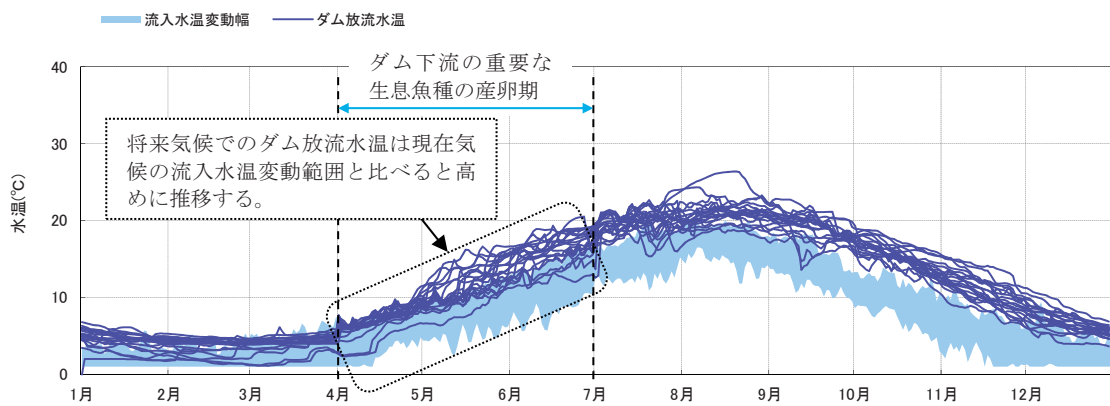
	条件	理由・ねらい
対象ダム	寒河江ダム	水深が大きく冷熱源の容量が大きい。
対象ケース	RCP8.5 C3	河川の水温上昇が全ケース中最大となる。
計算条件	<p>【選択取水による冷熱源の放流】</p> <p>選択取水設備の取水位置を、流入水温変動幅の上限を目標水温として設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4~6月の取水位置を、ダム下流の生息魚種への影響を考慮し、現在気候の流入水温変動幅に基づいて設定する。 ・それ以外の月(7~11月)は対象ケースでの流入水温変動幅に基づく目標水温から設定する。 	<p>河江ダム下流に生息する魚の重要種として、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

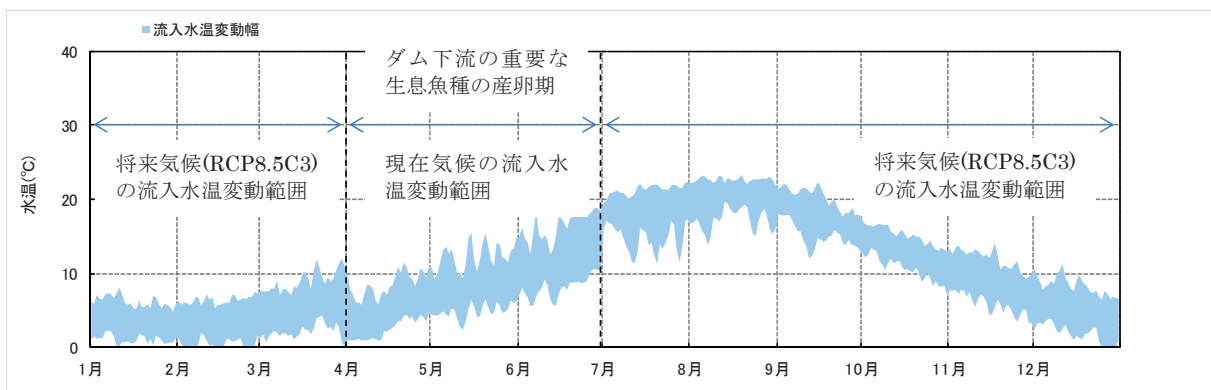


図 5-9 目標水温設定に用いた流入水温変動範囲

(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"> ・ 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。 ・ 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。 ・ 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。
4～6 月の 温水放流温度 ¹⁾ （温水放流時の超過温度）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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。
総括	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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。

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

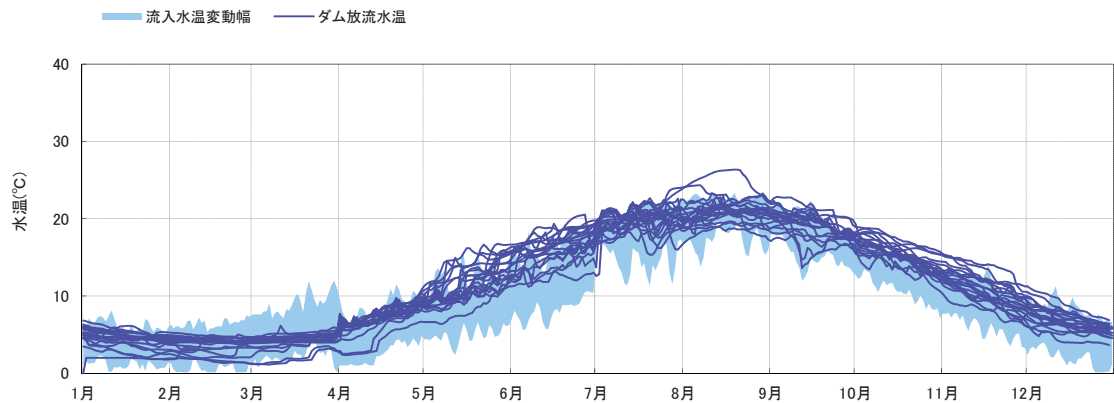
表 5-24 現在気候の流入水温変動範囲に基づく温水放流日数

	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）