

【資料編 2】

モデル湖沼での解析モデルを用いた
気候変動による将来予測・影響評価の検討例

目 次

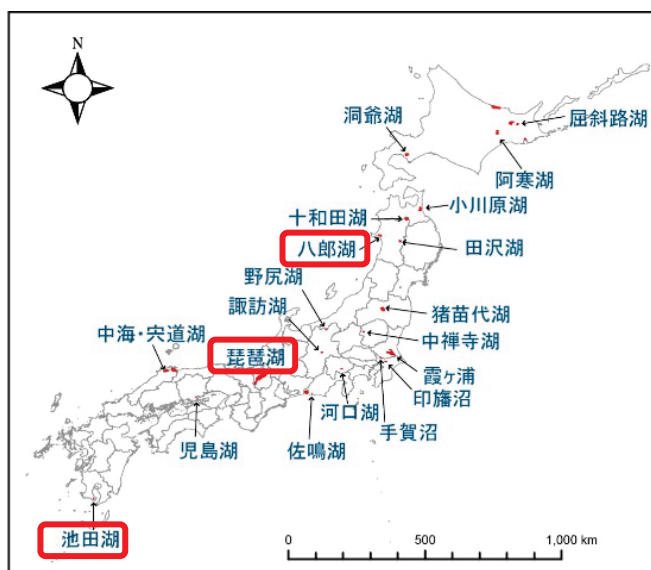
2. モデル湖沼での解析モデルを用いた気候変動による将来予測・影響評価	2-1
2.1 検討の概要	2-1
2.2 将来予測条件の設定	2-2
2.2.1 予測に用いた気候モデルシナリオデータ	2-2
2.2.2 各モデル湖沼における将来予測の気象条件	2-6
2.3 八郎湖における影響予測・評価	2-7
2.3.1 八郎湖の概要	2-7
2.3.2 水質予測モデルの構築	2-8
2.3.3 将来予測	2-9
2.3.4 影響評価	2-13
2.4 琵琶湖における影響予測・評価	2-17
2.4.1 琵琶湖の概要	2-17
2.4.2 水質予測モデルの構築	2-18
2.4.3 将来予測	2-18
2.4.4 影響評価	2-23
2.5 池田湖における影響予測・評価	2-26
2.5.1 池田湖の概要	2-26
2.5.2 水質予測モデルの構築	2-27
2.5.3 将来予測	2-28
2.5.4 影響評価	2-31

2. モデル湖沼での解析モデルを用いた気候変動による将来予測・影響評価

2.1 検討の概要

環境省では「気候変動による湖沼の水環境への影響評価・適応策検討（平成 25～令和 2 年度）」において、八郎湖（秋田県）、琵琶湖（滋賀県）、池田湖（鹿児島県）をモデル湖沼に選定し（図 2.1）、解析モデルを用いた影響評価等の検討を行ってきた。

本資料では、その概要を示す。（詳細は、別資料「調査報告書」を参照）



※図中の 21 湖沼での各種データ・資料の分析結果より、我が国の湖沼における気候変動影響（水温上昇、結氷短期化、アオコ等発生、鉛直循環不全、融雪出水変化）を検討するモデル湖沼として 3 湖沼を選定

図 2.1 モデル湖沼

解析モデルを用いた検討の実施フローは図 2.2 の通りである。

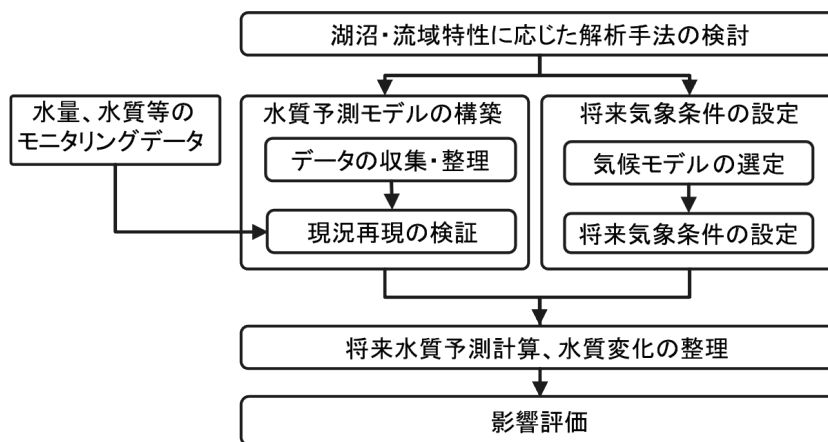


図 2.2 気候変動による湖沼の影響予測・評価の実施フロー

2.2 将来予測条件の設定

2.2.1 予測に用いた気候モデルシナリオデータ

将来予測および影響評価の検討に用いる気象条件（気候モデル・排出シナリオ）としては、検討会における継続的な議論を踏まえ、予測の不確実性を考慮する視点から、一つの気候モデルのデータセットではなく、異なる排出シナリオ、異なる気候モデルによる将来の気象予測データセットを用いた。本検討実施期間（H25～R2）で入手可能であったデータセットの中から、表 2.1 に示すデータセットを用いて予測・評価を行った。

また、気象変化による影響を検討することを目的としていたことから、将来予測として現況の条件から気象（気温、降水量）のみ変えている。その他気象や流域の人口や土地利用等の条件は現況と同じ条件としていることに留意する。

表 2.1 将来予測に用いたデータセット

ケース名	MRI-NHRCM20	MIROC5	GFDL-CM3	d4PDF	
気候モデル	気候モデル	MRI-NHRCM20	MIROC5	GFDL-CM3	MIROC5
	水平解像度	20km 日本周辺 (211×175)	大気：約 150km 海洋：約 100km	大気：約 200km 海洋：約 110km の三極グリッド	大気：約 150km 海洋：約 100km
	鉛直層数	鉛直 40 層	大気：40 層 海洋：49 層	大気：48 層 海洋：50 層	大気：40 層 海洋：49 層
	モデル	地域気候モデル (日本周辺)	大気海洋結合モデル (全球)	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル (全球)
	開発者	気象研究所	東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構による共同開発	National Oceanic and Atmospheric Administration、Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構による共同開発
	時間解像度	1 時間	3 時間	3 時間	3 時間
	主な提供気象データ	気温、降水量、風向風速など	気温、降水量、地表面湿度、地上気圧、海面水温、放射量など	気温、降水量、雲量、潜熱フラックス、風速、地上気圧、放射量など	気温、降水量、地表面湿度、地上気圧、海面水温、放射量など
データセット	開発者	気候モデルと同じ	気候モデルと同じ	気候モデルと同じ	SI-CAT (気候変動適応技術社会実装プログラム：文部科学省)
	水平解像度	20km	150km	200km	5km
	時間解像度	1 時間	3 時間	3 時間	1 時間
	排出シナリオ	RCP-2.6、RCP-8.5	RCP-8.5	RCP-8.5	4℃上昇 (RCP-8.5 相当)
	使用した気象データ	気温、降水量	気温、降水量	気温、降水量	気温、降水量
備考				気候モデルは MIROC5 用いた力学的ダウンスケーリングデータであり、4℃上昇条件での将来データ (RCP8.5 相当と捉える)	

検討に用いたデータセットのデータメッシュを図 2.3～図 2.5 に示す。図 2.4 に示す MIROC5 および GFDL-CM3 のメッシュは計算対象湖沼の流域に対して大きなメッシュとなっており、解析モデルでの計算では、このメッシュ内には一様な気象条件を与えることになることに留意が必要である。

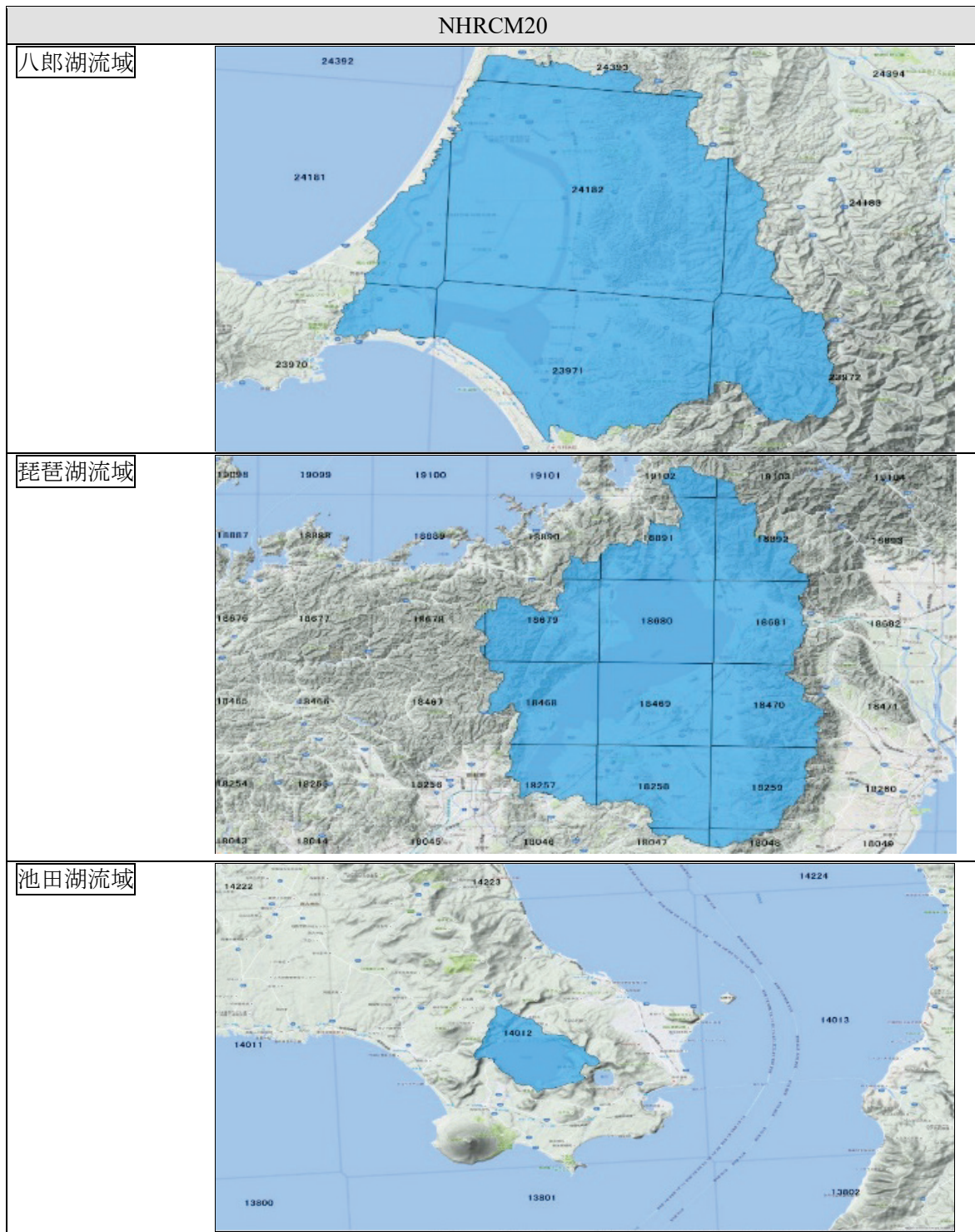


図 2.3 気候モデルでのメッシュと、モデル湖沼の流域 (MRI-NHRCM20)

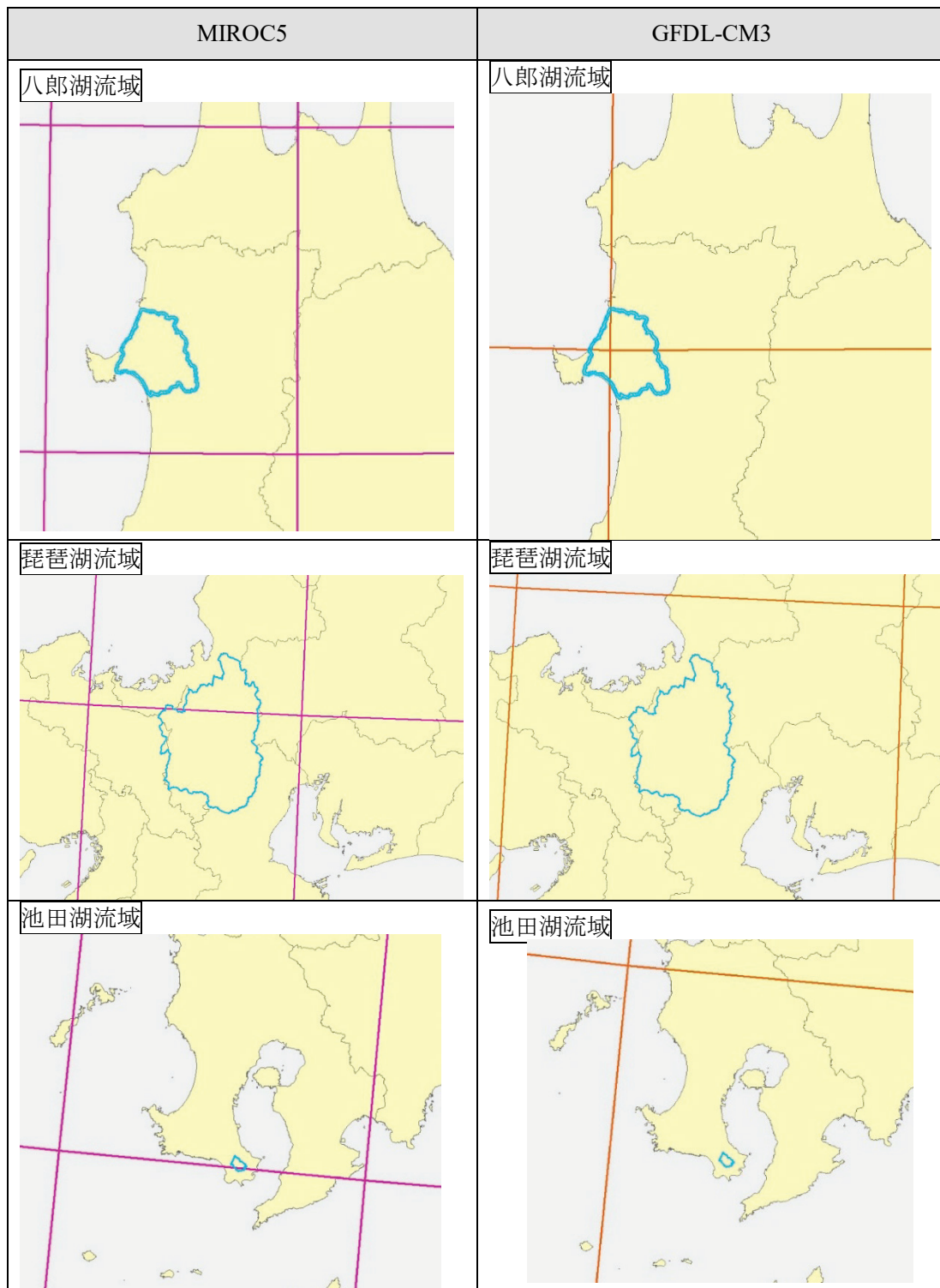


図 2.4 気候モデルでのメッシュと、モデル湖沼の流域
(左:MIROC5、右:GFDL-CM3)

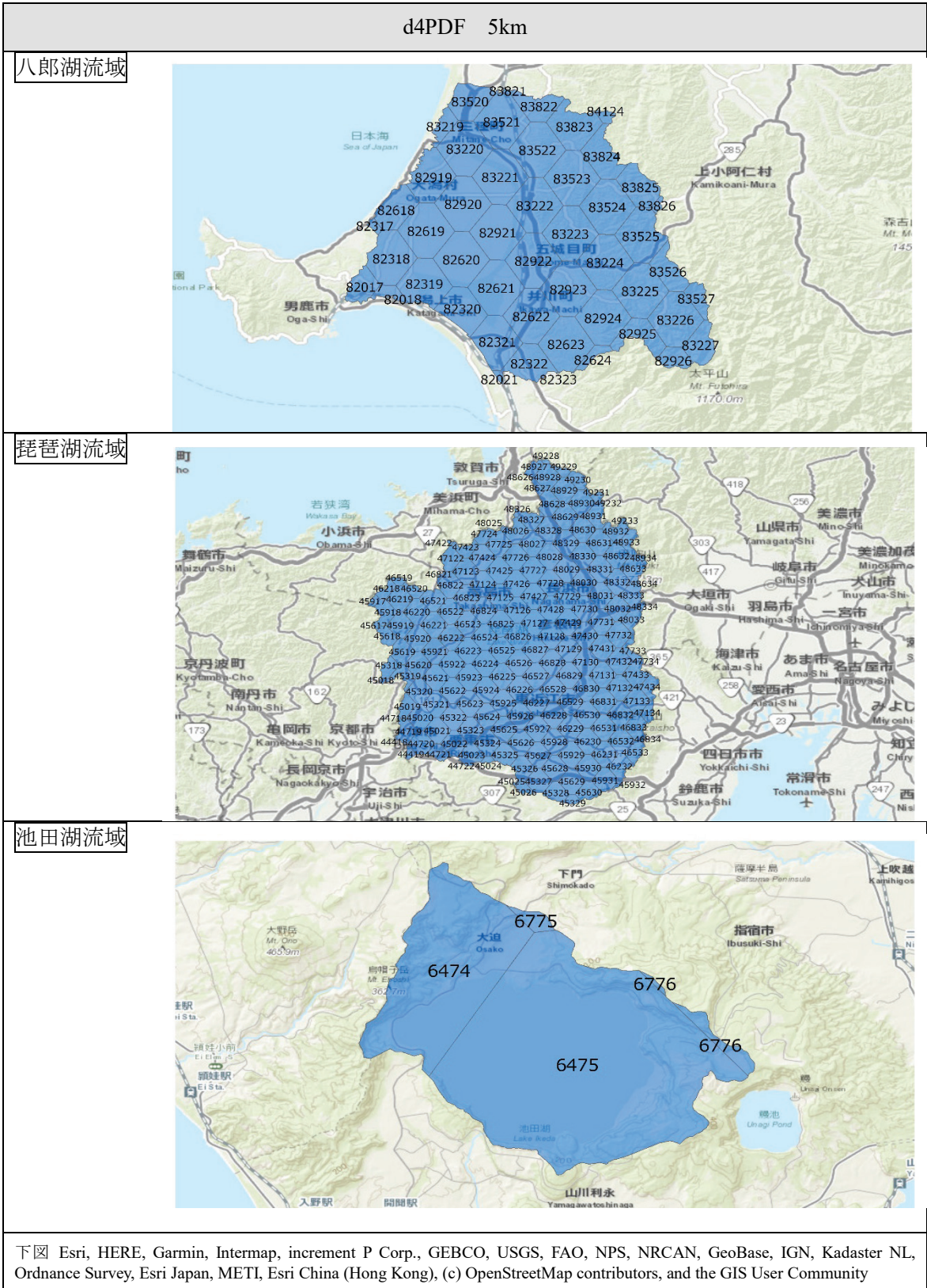
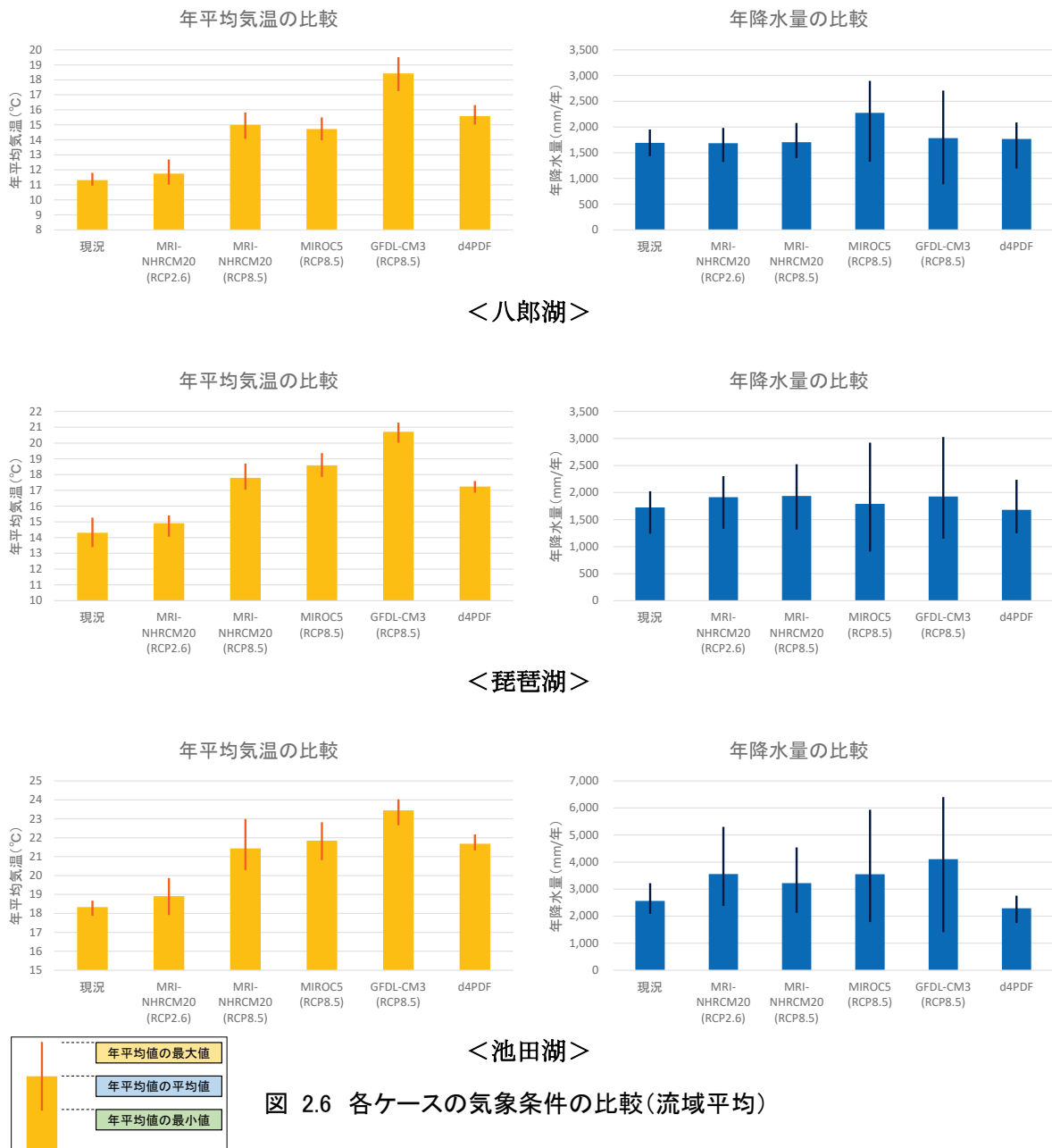


図 2.5 気候モデルでのメッシュと、モデル湖沼の流域 (d4PDF)

2.2.2 各モデル湖沼における将来予測の気象条件

将来予測計算に用いた気象条件を以下に示す。なお、各モデル湖沼での水質予測モデルへの入力としては時間ピッチの時系列データを与えている。将来の温室効果ガスの排出量が少なく気温上昇が小さいシナリオである RCP2.6 を 1 つ、排出量が多く気温上昇が大きいシナリオである RCP8.5（または 8.5 相当）を 4 つにより将来予測を行った。RCP8.5（または 8.5 相当）シナリオの 4 つは、異なる 3 つの気候モデルを用いたデータセットである。

ここで、将来の温室効果ガス排出量の不確実性への対応として異なる排出シナリオでの検討、また気候モデルの違いによる将来予測の不確実性への対応として異なる気候モデルでの検討を行っている。次節以降の各モデル湖沼における予測結果はいずれも 21 世紀末頃を想定した予測結果であるが、予測結果には幅があるものとして捉える必要がある。



ここで示す内容は、あくまで手引きで示した方法を用いた検討例として示したものである。
 (具体的な影響予測・評価の検討において、各自治体での精査が必要である。)

2.3 八郎湖における影響予測・評価

2.3.1 八郎湖の概要

八郎湖は、図 2.7 に示すように、秋田県の中央西部、男鹿半島の付け根に位置し、昭和 32 年から始まった八郎潟干拓事業によって残された 3 つの水域（八郎潟調整池、東部承水路及び西部承水路）を合わせた総称である。干拓後の八郎潟は、面積 47.32km²、総容量 132.6 百万 m³、集水面積 894.34km² で、東部流域から流入する中小 20 あまりの河川や水路を主要な水源としており、冬季には結氷する。八郎湖の水質は干拓後徐々に富栄養化が進行し、近年はアオコが大量に発生するなど水質汚濁の問題が顕在化している。



諸元

項目	単位	調整池	東部承水路	西部承水路	全体
湖面積	km ²	31.5	10.7	5.1	47.3
貯水量	百万m ³	103.8	20.0	8.8	132.6
平均水深	m	3.3	1.9	1.7	
管理水位	T.P.m	かんがい期 :1.0 非かんがい期 :0.5		0.35 0.25	
流域面積	km ²	894.3			
流域人口	人	69,700 (平成30年度)			
下水道等普及率*	%	94.8 (平成30年度)			

※指定地域内の集計値

環境基準

項目	類型	基準値 ^{※1}	平成30年度 年平均値
COD	湖沼・A	3mg/L	7.3mg/L ^{※2}
T-N	湖沼・IV	0.6mg/L	0.95mg/L
T-P	湖沼・IV	0.05mg/L	0.068mg/L

※1：水質汚濁に係る環境基準値

※2：全層平均 75%値

図 2.7 八郎湖の概要

2.3.2 水質予測モデルの構築

八郎湖での水質予測モデルは、八郎湖に係る第2期湖沼水質保全計画の策定に使用された水温・水質等の予測モデル（流域モデル・湖内モデル）を用いている。

流域からの流入は、分布型の流域水物質循環モデルを用いており（図2.8）、八郎湖流域における特徴的な流出現象（融雪出水、干拓地内等の水田からの流出）を再現した。湖内モデルは水理モデルと水質モデルで構成され、空間分割として、水平方向二次元、鉛直多層の構造を持つ。また水質モデルは、図2.8に示す低次生態系モデルを用いている。

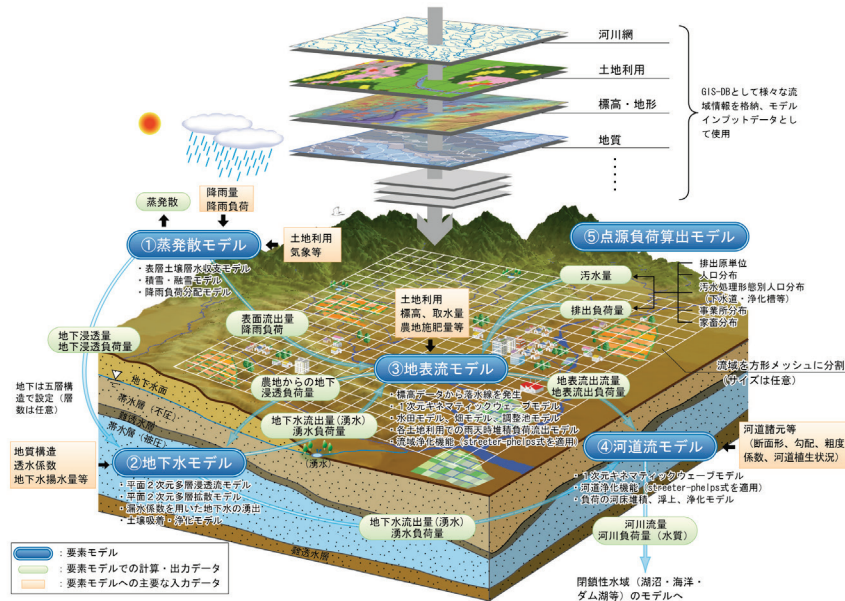


図 2.8 流域モデル(流域水物質循環モデル)の概要

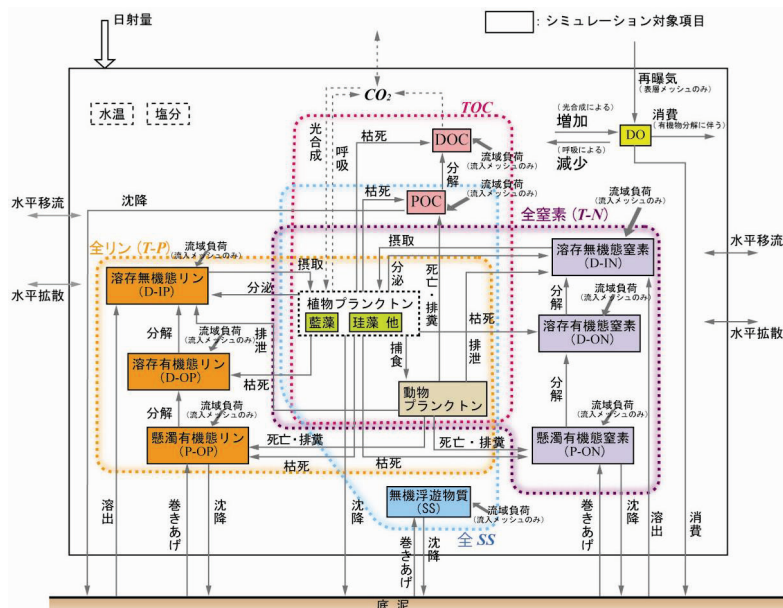


図 2.9 八郎湖における湖内水質予測モデルの概要

2.3.3 将来予測

(1) 気象条件

将来予測計算に用いた気象条件の特性を図 2.10 に示す。気温については、現況では年平均気温（計算に用いた 10 年間の平均）が約 11.3℃であるのに対し、将来においては、RCP2.6 相当のケースで約 0.4℃の上昇、その他の RCP8.5 相当の 4 ケースでは平均約 3.4～7.1℃の上昇となっている。また、現況に比べて、将来ケースの方が各年のばらつきの幅は大きい。

年降水量は、現況で 1,892mm であるのに対し、将来においては 7mm の減少～582mm の増加となる。また、現況に比べて、将来ケースの方が各年のばらつきの幅は大きい。

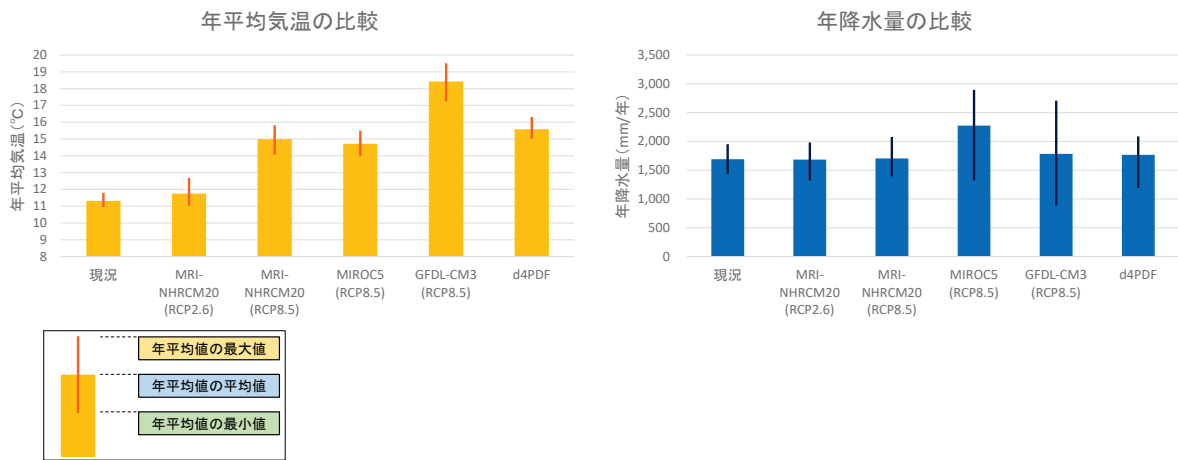


図 2.10 各ケースの気象状況の比較(八郎湖, 流域平均)

(2) 河川流量・水温・流入負荷量の予測

1) 河川流量

最大の流入河川である馬場目川の流量の変化を図 2.11 に示す。現況では年平均流量（10ヶ年の平均）が 19.6m³/s であるのに対し、将来は 14.5～19.0m³/s と流量が減少する。

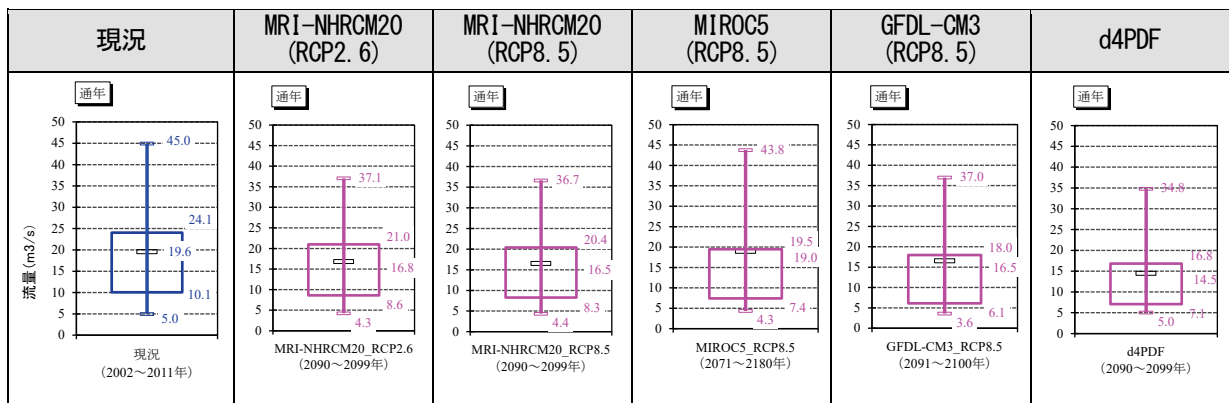
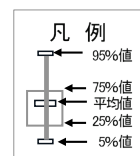


図 2.11 流入河川(馬場目川)における年間流量の変化



2) 河川水温

流入河川における水温の予測結果を図 2.12 に示す。水温の変化は気温の上昇に応じた変化となっており、現況では年平均（10ヶ年の平均）で 12.1℃であるのに対し、将来は 12.5～16.1℃と、現況に比べて 0.4～4.0℃の上昇となっている。

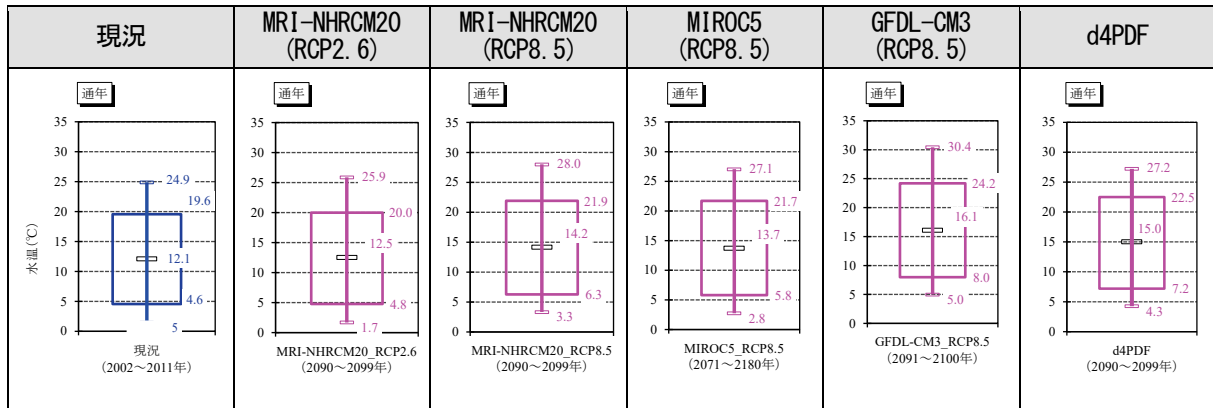
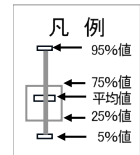


図 2.12 流入河川(馬場目川)における年間水温の変化



3) 河川からの流入負荷量

河川からの流入負荷量の予測結果を図 2.13 に示す。将来の T-N 負荷量については、将来は全体的にやや減少する傾向である（16%の減少～8%の増加）。また将来のいくつかのケースでは各年のばらつきの幅が大きくなっている。

T-P 負荷量については、ケースによって増減傾向がまちまちである（41%の減少～183%の増加）。将来の増加が顕著なケースでは、各年のばらつきの幅も大きくなっている。

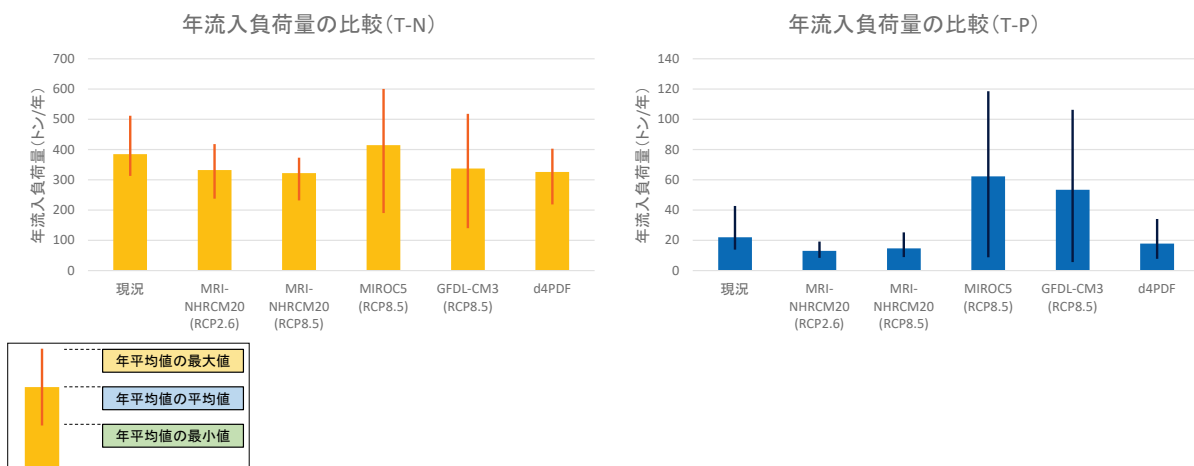
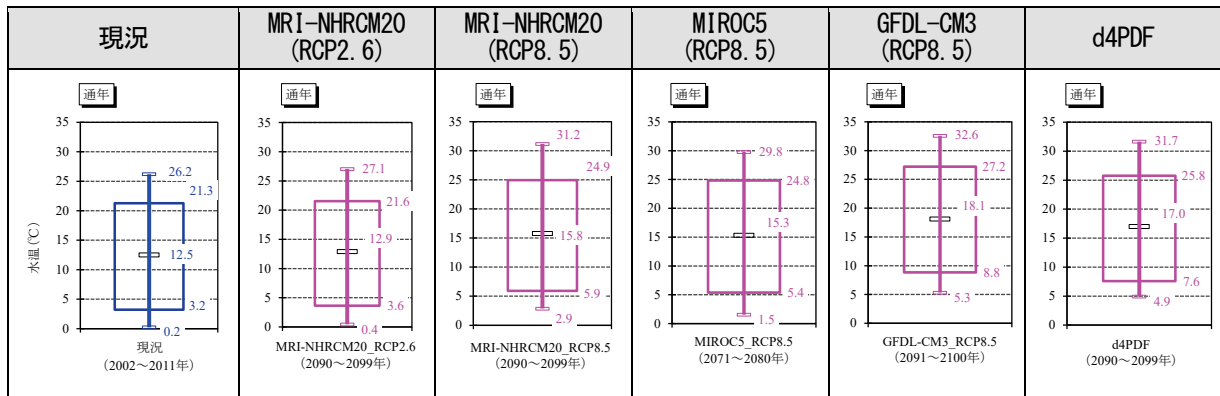


図 2.13 各ケースの流入負荷量の比較(馬場目川)

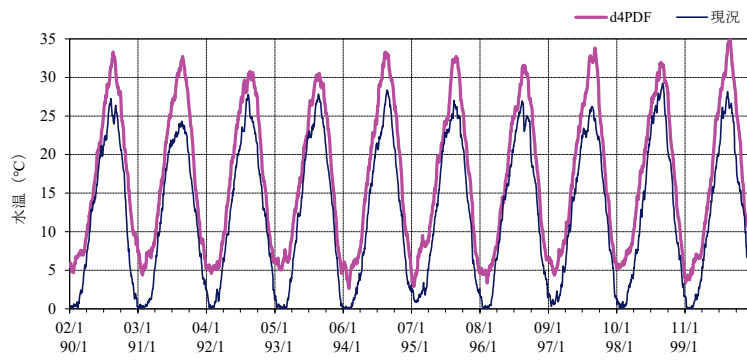
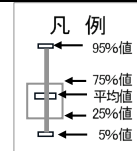
(3) 湖内水温・水質の予測

1) 湖水温

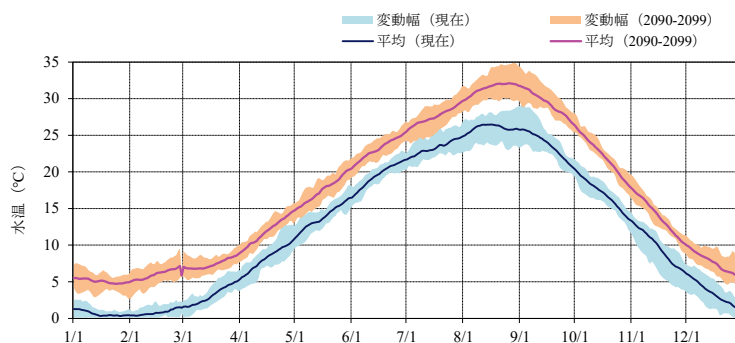
湖の代表地点における表層水温の予測結果を図 2.14 に示す。湖の表層水温は気温の上昇に応じて上昇の傾向となっている。現況では年平均（10ヶ年の平均）で 12.5℃であるのに対し、将来は 12.9～18.1℃と、現況に比べて 0.4～5.6℃の上昇となっている。



<日平均値の発生頻度>



<日平均値の10ヶ年間の変化 (d4PDFでの整理例) >

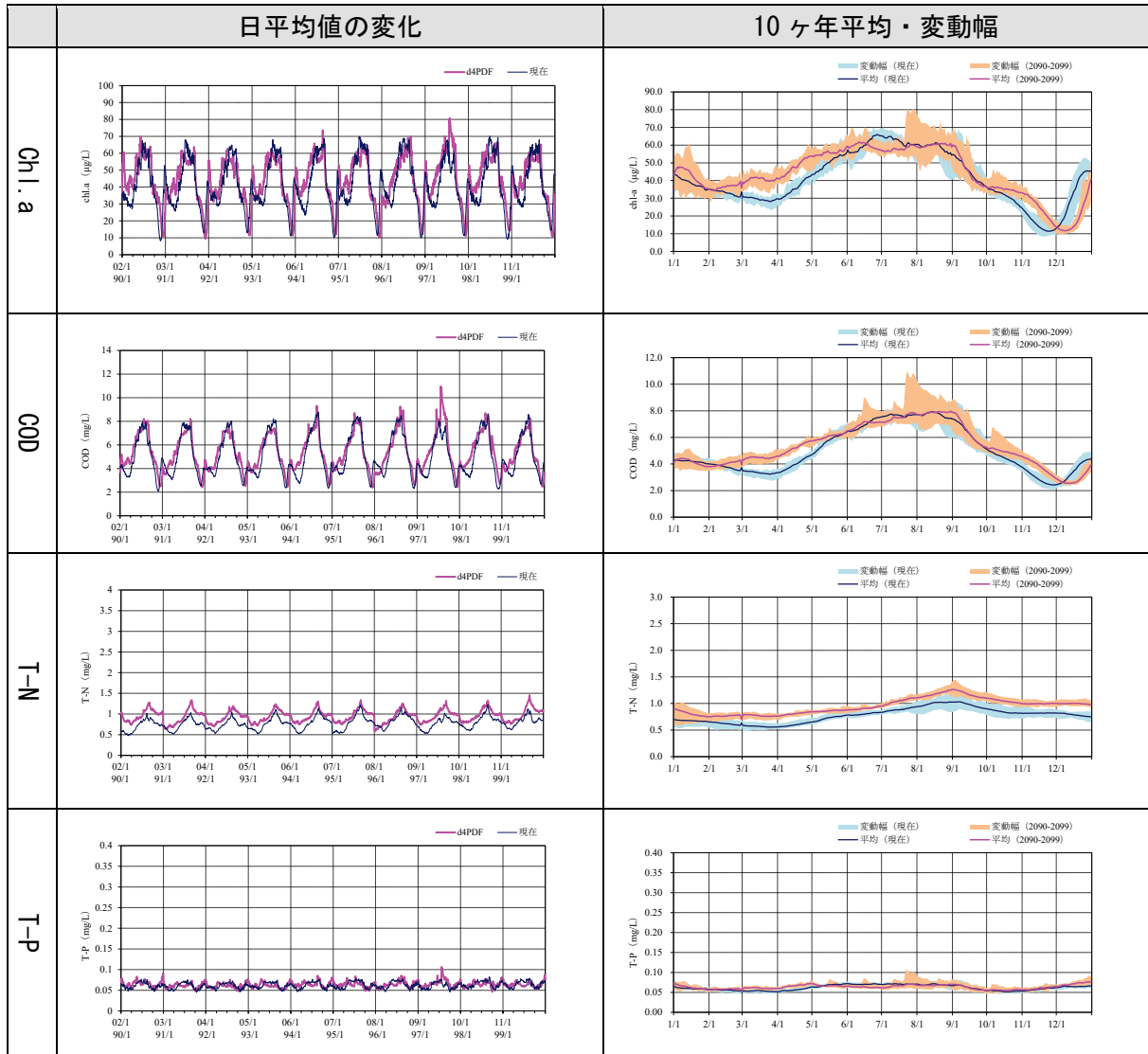


<各日の10ヶ年平均と10ヶ年の変動幅、(d4PDFでの整理例) >

図 2.14 八郎湖湖内の水温変化(調整池, 湖心-表層)

2) 湖水質

湖の代表地点表層における予測結果を図 2.15 に示す。将来は、水温上昇により植物プランクトンの増殖時期が早まり、春期～夏期に現況より濃度上昇が大きくなる傾向が見られる。また、出水の極端化に伴って負荷の流入が増えることにより内部生産が増え、クロロフィル a の最大値（10 ヶ年幅の上限）が上昇する傾向が見られる。その結果、COD も同様に上昇する傾向となっている。



<d4PDFでの整理例>

図 2.15 八郎湖湖内の水質変化(調整池, 湖心-表層)

2.3.4 影響評価

(1) 冷水性魚類等の生息適水温とのずれ

八郎湖における主な漁業対象種であるワカサギについて、ワカサギ成魚への水温変化の影響を検討した。ワカサギの成魚の生息に影響を与えると考えられる水温（30℃）以上（表 2.2）となる状況を図 2.16 に整理した。これより、現況では 10 ヶ年でゼロ日であるのに対し、将来は 0.2～61 日/年となり、場合によっては高頻度で生じる可能性が示された。

表 2.2 ワカサギの生息適水温

時期	最適水温域 (℃)	適水温域 (℃)	生存可能範囲	
			下限 (℃)	上限 (℃)
産卵期	6～7	5～10	—	—
ふ化期	—	5～17.5	—	—
成魚期	—	0～30	0	30

出典) 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理 (社団法人 日本水産資源保護協会, 1976)

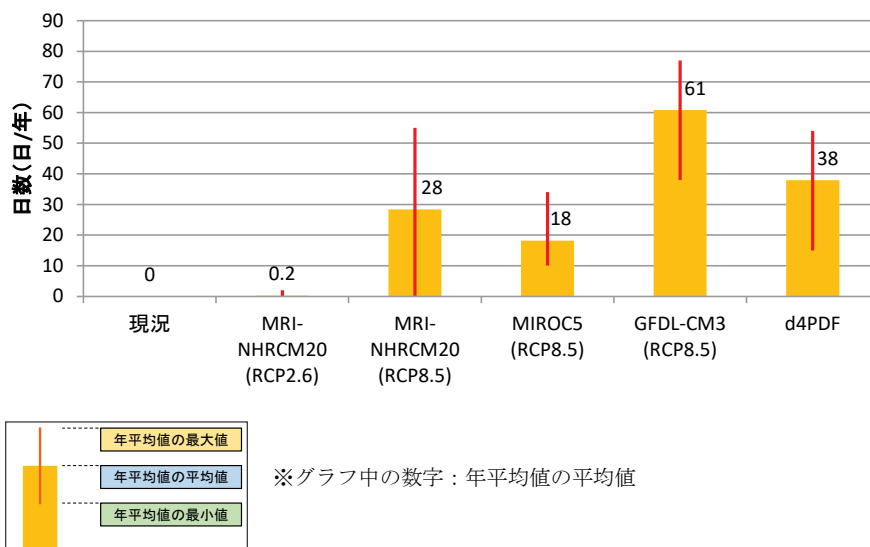


図 2.16 八郎湖湖心の表層水温が 30℃以上となる日数(10 年間で年平均)

(2) 植物プランクトンの変化

気候変動による植物プランクトン量の変化は、モデル解析項目のクロロフィル a 濃度を用いて整理した。植物プランクトンが存在すること自体は問題ではなく、異常増殖することがアオコ等の水質問題につながることから、クロロフィル a 濃度の最大値に着目した。

図 2.17 にその予測結果を示す。現況での 10 年間の最大濃度は $70 \mu\text{g/L}$ 、将来は $74 \sim 113 \mu\text{g/L}$ と 1.05～1.61 倍の濃度になると予測された。また、図 2.18 より、将来では現況の最大値を上回る回数（年）は、2～10 回となり、現況に比べて植物プランクトンの増殖による影響の頻度が増加する可能性が示された。

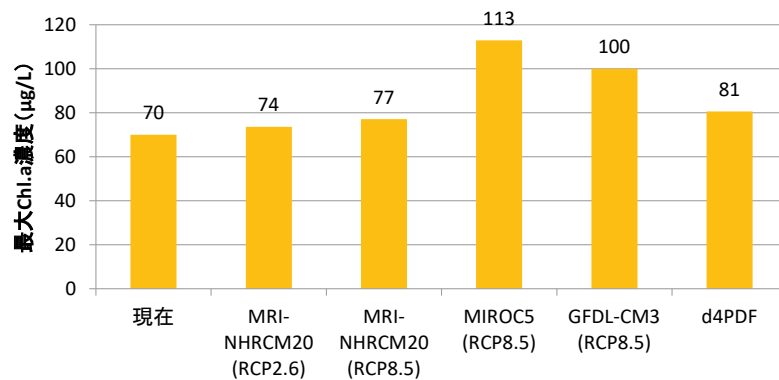


図 2.17 気候モデル・シナリオによるクロロフィル a 最大値(10 年間の最大値)

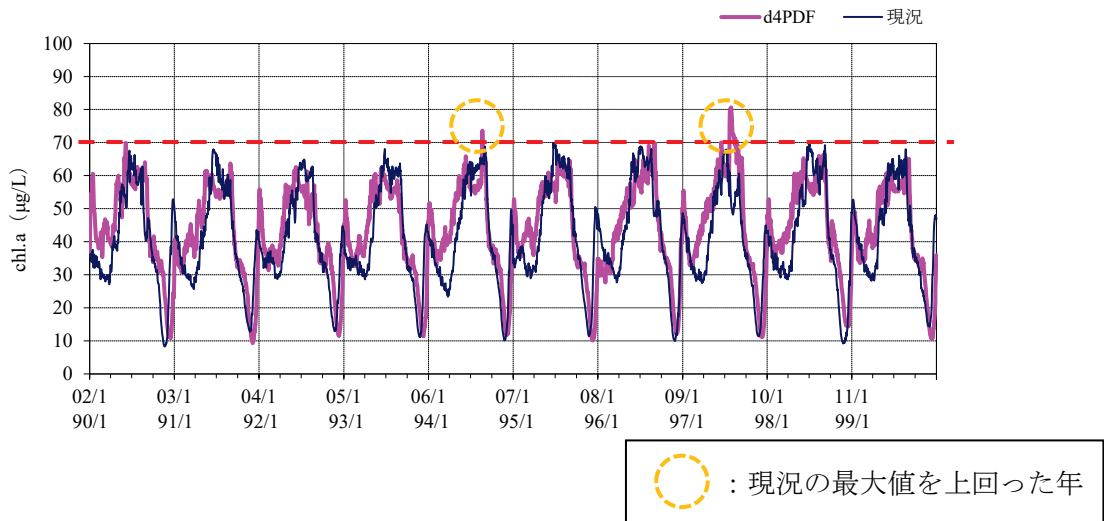


図 2.18 湖内水質予測結果の整理例(d4PDF、Chl.a 日平均値、10 年間の予測結果)

(3) 結氷の変化(湖面結氷の短期化)

本検討の中で整理した結果から、八郎湖での湖面結氷の情報を整理した2001～2014年の間で、湖面結氷が生じなかった年は2007年のみであった(結氷の広さや厚さは関係なく結氷が観測された年)。また、冬期の気温と結氷の有無に一定の関係性があると仮定して分析を行った結果、「日平均気温が0℃を下回る日数」を指標として整理すると、関係性があることが考えられた。ただし、結氷は気温だけでなく他の気象等に要因にも影響を受けることに留意する。

この関係性から、将来の気象条件として設定した気温を用いて、「日平均気温が0℃を下回る日数」を整理した結果、図2.19に示すように、現況では37日/年であるのに対して、将来は0～29日/年と総じて減少する傾向となり、湖面が結氷する頻度が減少する可能性が示された。

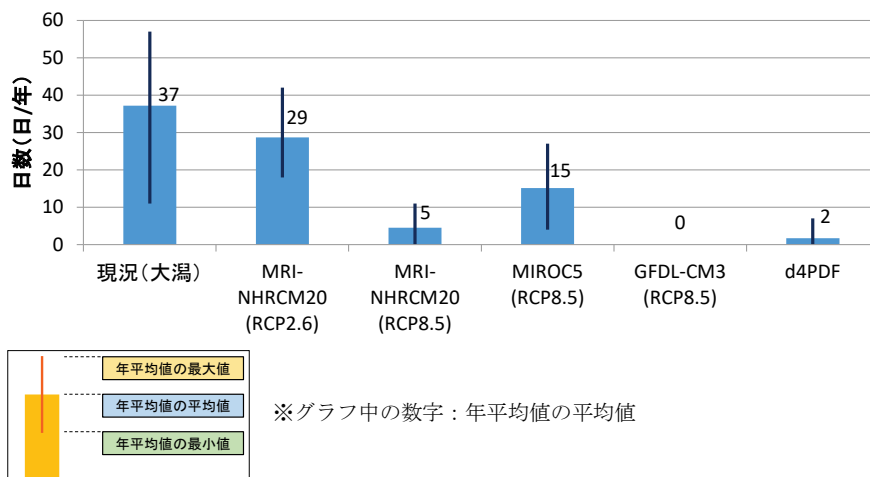


図 2.19 日平均気温が0℃を下回る日数

(4) 影響評価のまとめ

① 冷水性魚類の生息的水温とのずれ（検討対象魚種：ワカサギ）

八郎湖における主な漁業対象種であるワカサギの成魚の生息に影響を与えると考えられる水温（30℃）以上となる状況が、現況ではゼロ日であるのに対し、将来は0.2～61日/年となり、場合によっては高頻度で生じる可能性が示された。

② 植物プランクトンの変化

現況のChl.aの年最大値が、将来は1.05～1.61倍の濃度になると予測された。また、将来現況の最大値を上回る回数（年）は、2～10回となり、現況に比べてアオコ発生リスクが増加する可能性が示された。

③ 結氷の変化

結氷の閾値として「日平均気温が0℃を下回る日数」を比較した結果、現況では37日/年であるのに対して、将来は0～29日/年と総じて減少する傾向となり、湖面が結氷する頻度が減少する可能性が示された。

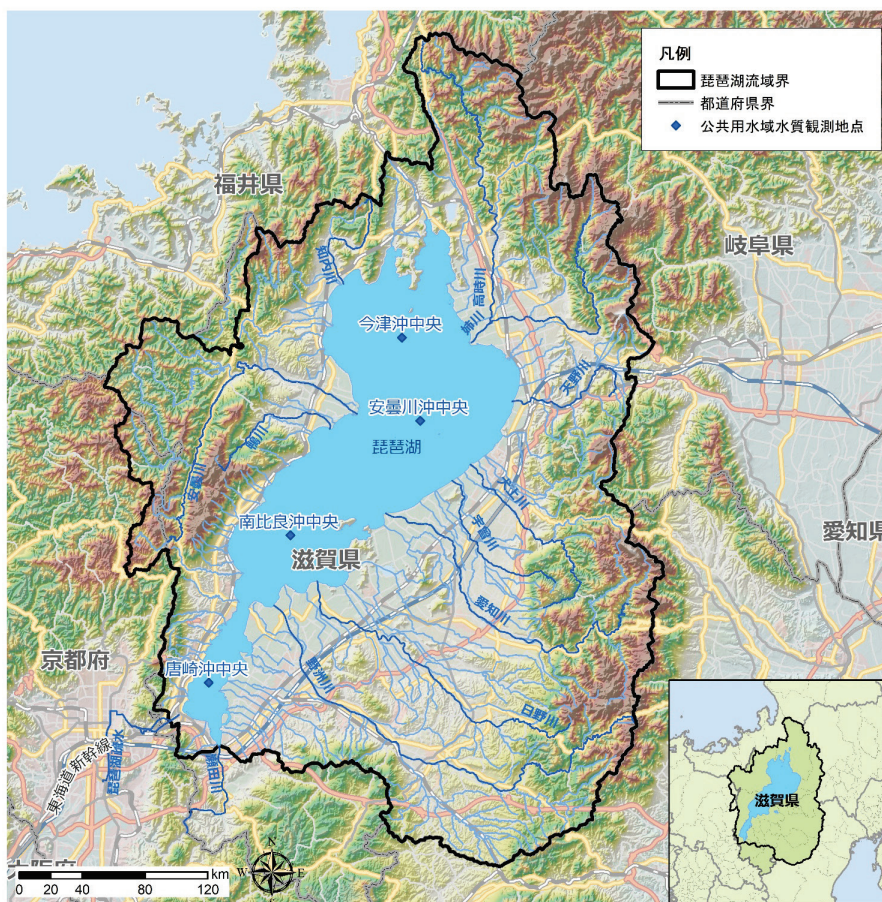
※上記の影響評価結果は、気温上昇が比較的小さいシナリオであるRCP2.6や、排出量が多く気温上昇が大きいシナリオであるRCP8.5（または8.5相当）の異なるケースを用いた将来予測による結果であり、予測結果には不確実性を含んでいることに留意する必要がある。

ここで示す内容は、あくまで手引きで示した方法を用いた検討例として示したものである。
 (具体的な影響予測・評価の検討において、各自治体での精査が必要である。)

2.4 琵琶湖における影響予測・評価

2.4.1 琵琶湖の概要

琵琶湖は図 2.20 に示すように、滋賀県に位置し、面積 670km²、貯水量 275 億 m³ の日本最大の湖である。集水面積は 3,174km²、約 460 の大小の河川から流入した水は、瀬田川と琵琶湖疏水から流下し、滋賀県および近畿圏の 1,450 万人の生活と産業活動を支える水源となっている。400 万年の歴史をもつ世界有数の古代湖であり、また、多様な生物相に恵まれ、ラムサール条約に基づく重要湿地に登録されている。近年は南湖における水草の大量繁茂が問題となっている。



【諸元】

標高	O.P.B. 85.614m
湖面積	670km ²
最大水深	103.58m
湖容積	275億m ³
流域面積	3,174kkm ²
流域人口 (H27)	132.5万人 ^{※1}
下水道普及率 (H27)	88.8% ^{※1}

(図面出典)

- ・背景地図: @Esriジャパン
- ・流域界: 国土数値情報(流域界・非集水域)より作成
- ・流入河川: 国土数値情報(河川)より作成

【環境基準】

項目	類型	基準値(mg/L) ^{※2}		令和元年度水質状況 (単位: mg/L) ^{※3}	
		北湖	南湖	北湖	南湖
COD	湖沼・AA	1	1	2.9	4.1
T-N	湖沼・II	0.2	0.2	0.20	0.22
T-P	湖沼・II	0.01	0.01	0.006	0.011

※2 水質汚濁に関わる環境基準値

備考: 基準値の評価方法

COD: 各基準点における表層の年間75%値の最大値。

T-N、T-P: 各基準点における表層の年間平均値の平均値。

(データ出典)

※1 滋賀県、第7期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画(R1.3)より

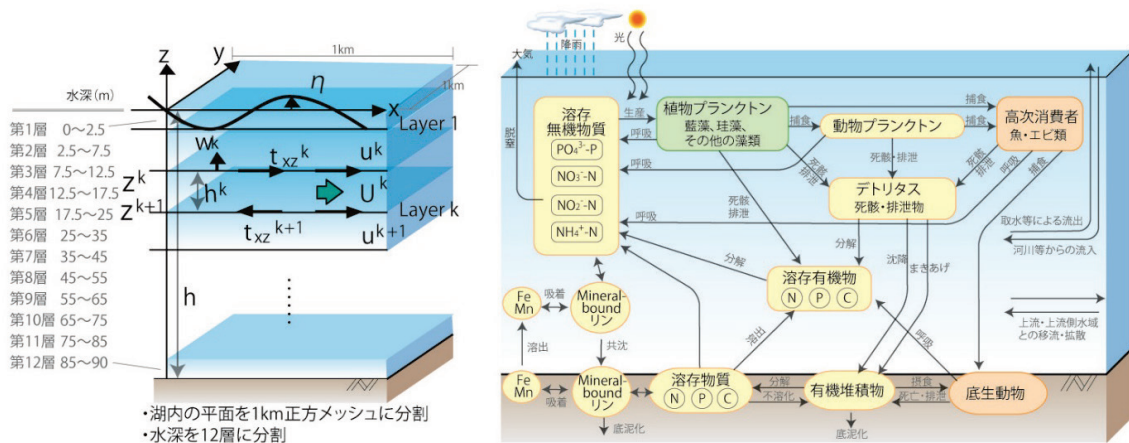
※3 滋賀県 滋賀の環境2019(令和元年版環境白書)

図 2.20 琵琶湖の概要

2.4.2 水質予測モデルの構築

琵琶湖での水質予測モデルは、琵琶湖に係る湖沼水質保全計画の策定に使用した水温・水質等の予測モデル（流域モデル・湖内モデル）を用いている。

流域からの流入は、八郎湖と同様の流域水物質循環モデルを用いている（図 2.8）。湖内モデルは、水理モデルと水質モデルで構成され、空間分割として、水平方向二次元、鉛直多層の構造を持ち、水質モデルは物質の移流・拡散過程、水-底質相互作用を含む湖内の生化学反応過程を基盤とする生態系モデルを用いている（図 2.21）。



出典：佐藤ら「陸域-湖内流動-湖内生態系を結合した琵琶湖流域水物質循環モデルの構築とその検証」、水環境学会誌、2011年34巻9号 p.125-141

図 2.21 琵琶湖における湖内水質予測モデルの概要

2.4.3 将来予測

(1) 気象条件

将来予測計算に用いた気象条件の特性を図 2.22 に示す。気温については、現況では年平均気温（計算に用いた 10 年間の平均）が約 14.3℃であるのに対し、将来においては、RCP2.6 相当のケースで約 0.6℃の上昇、その他の RCP8.5 相当の 4 ケースでは平均約 2.9~6.4℃の上昇となっている。

年降水量は、現況で 1,724mm であるのに対し、将来においては 45mm の減少~211mm の増加となる。また、現況に比べて、将来ケースの方が各年のばらつきの幅が大きい。

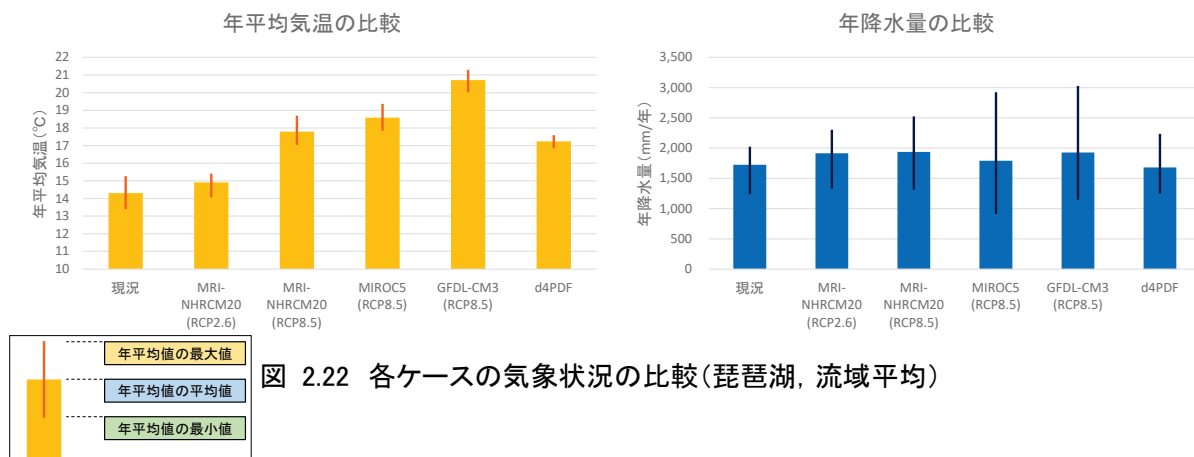


図 2.22 各ケースの気象状況の比較(琵琶湖, 流域平均)

(2) 河川流量・水温・流入負荷量の予測

1) 河川流量

主要流入河川の一つである姉川の流量の変化を図 2.23 に示す。現況では年平均流量（10ヶ年の平均）が $18.6\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対し、将来は $13.8\sim 18.3\text{m}^3/\text{s}$ と流量が減少する。

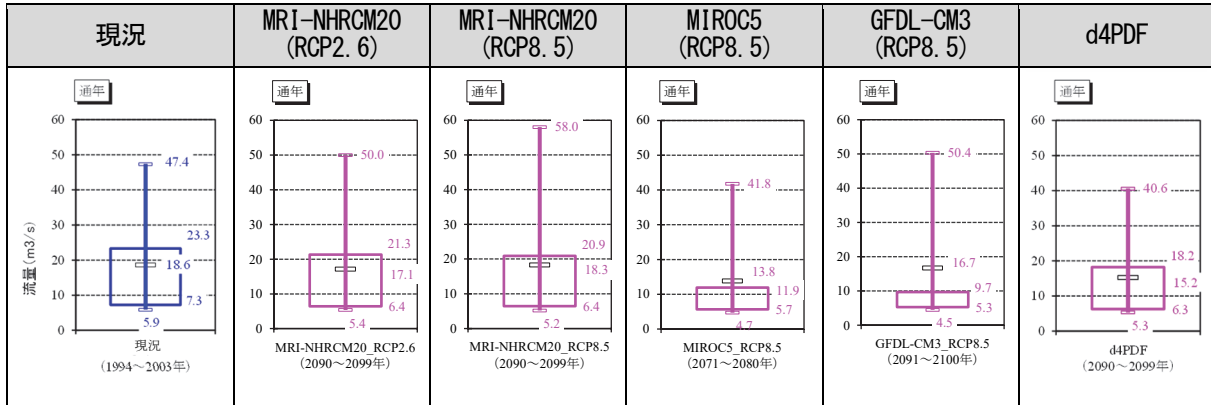
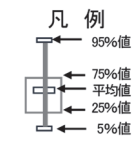


図 2.23 姉川における通年の流量変化



2) 河川水温

図 2.24 に示すように、河川水温は気温の上昇に応じた変化となっており、現況では年平均（10ヶ年の平均）で 15.7°C であるのに対し、将来は $16.8\sim 21.2^\circ\text{C}$ と、現況に比べて $1.1\sim 4.5^\circ\text{C}$ の上昇となっている。

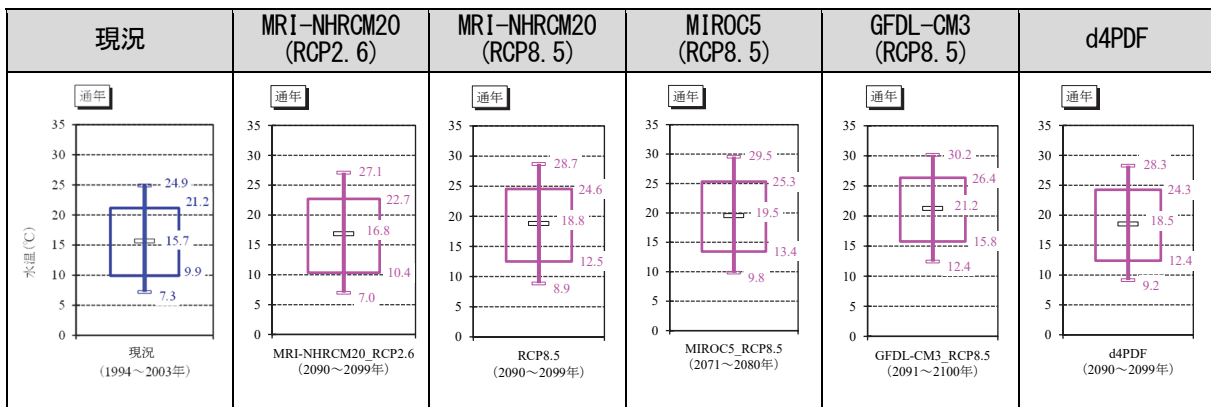
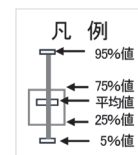


図 2.24 流入河川(姉川)における通年の水温変化



3) 河川からの流入負荷量

将来の T-N 負荷量については、ケースによって増減傾向がまちまちである（16%の減少～27%の増加）。将来ケースのいくつかで各年のばらつきの幅が大きくなっている。

T-P 負荷量については、将来は全体的に概ね増加する傾向である（1%の減少～77%の増加）。将来のケースでは、各年のばらつきの幅が大きくなっている。

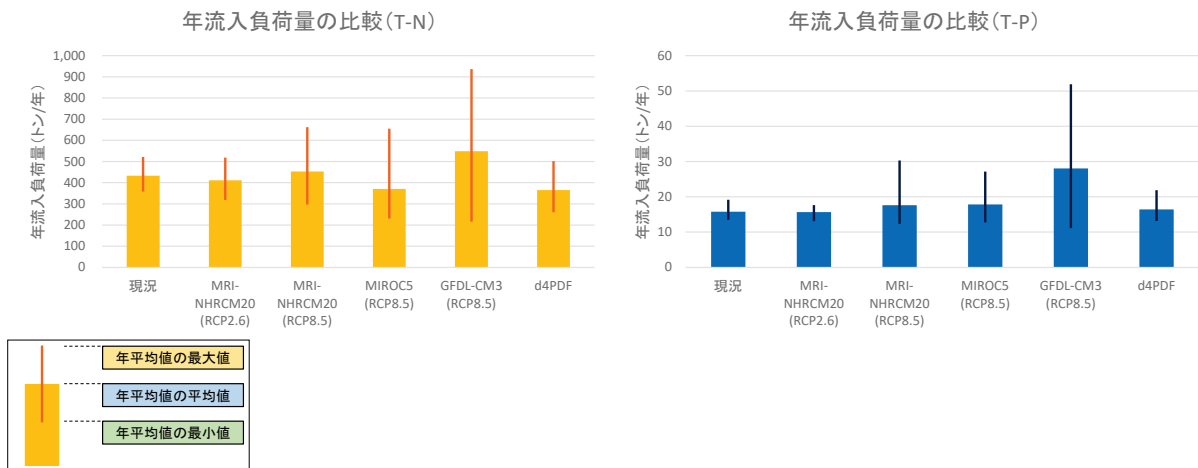


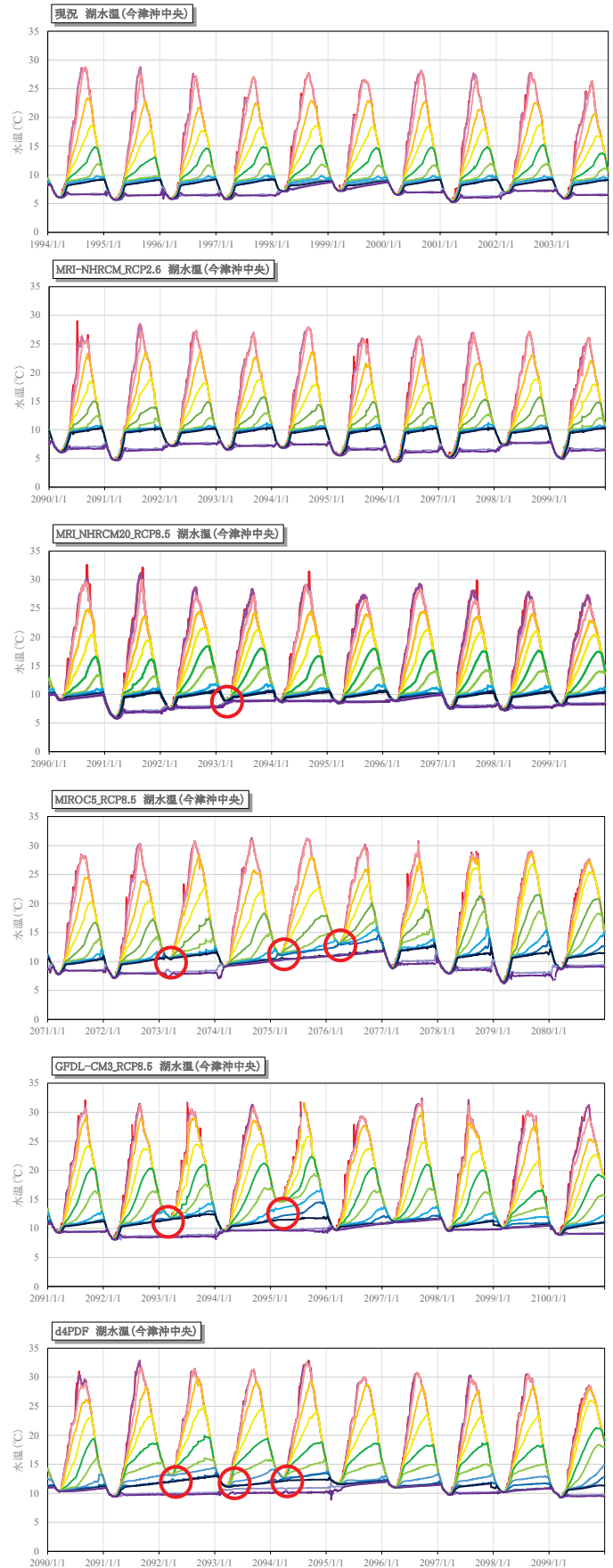
図 2.25 各ケースの流入負荷量の比較(姉川)

(3) 湖内水温・水質の予測

1) 湖水温(冬期全循環の変化)

今津沖中央(北湖最深部)における水深別の水温変化、冬期全循環停止の発生状況を図 2.26 に示す。

全循環の停止(表層と底層の水温が同じにならない)が生じたと思われる回数は、現況では10ヶ年に0回であったのに対して、将来は10ヶ年に0~3回となり、全循環の停止が生じる可能性があるとして予測された。



○: 全循環が生じなかった年
(表層と底層の水温が同じにならなかった時)

図 2.26 琵琶湖内の水温変化の予測結果
(今津沖中央地点、水深別)

※琵琶湖では近年、2019年や2020年の春などで全層循環の完了が確認されていないが、本検討では1994~2003年の10ヶ年を現況としている。

2) 湖内 DO(溶存酸素)

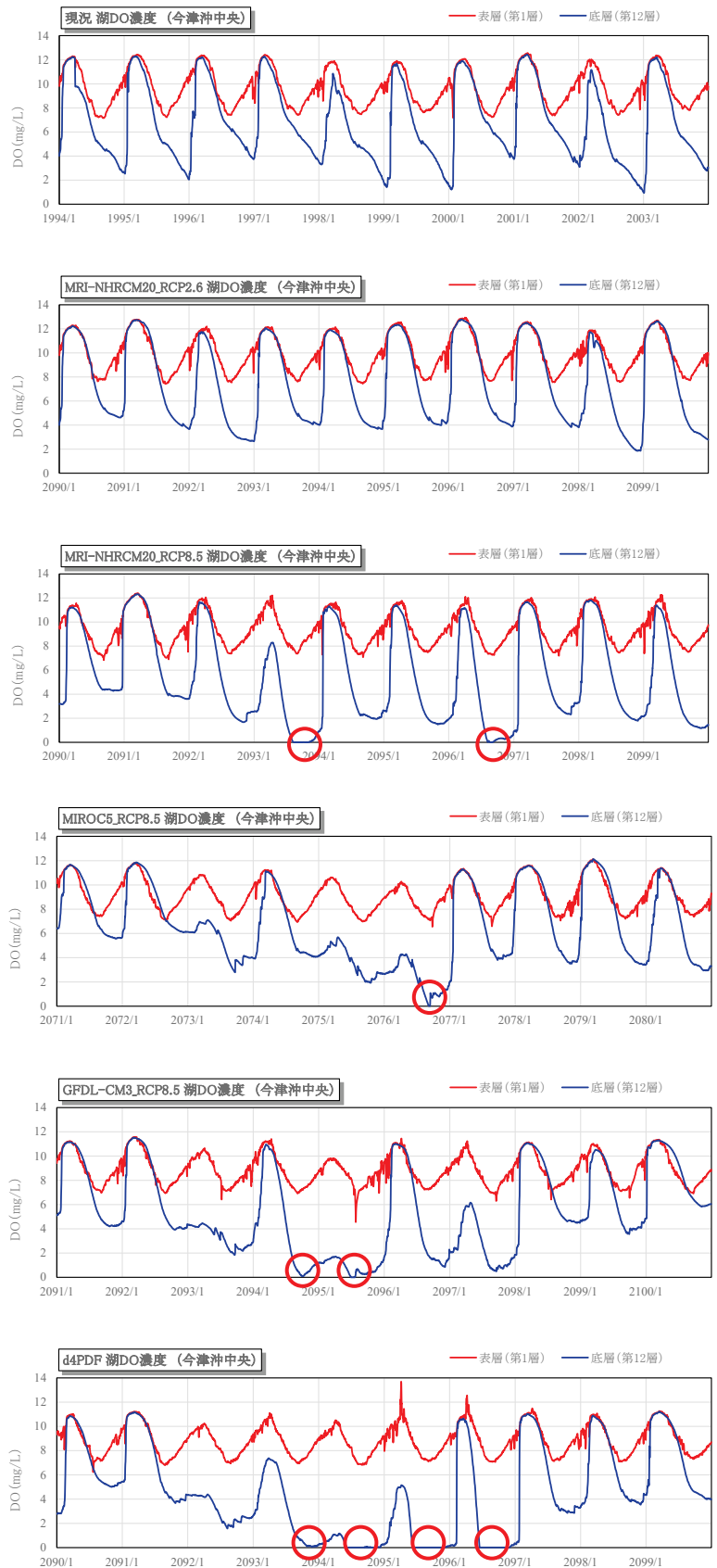
今津沖中央(北湖最深部)における表層と底層の DO 変化を図 2.27 に示す。

通常の年における底層 DO の変化は、冬季～春季に全循環により表層と底層の DO が同濃度となった後、水温躍層ができてくると底層水には表層からの酸素の供給が少なくなり、また有機物の分解等により酸素が消費されることから DO 濃度は徐々に低下し、次の全循環で濃度が回復するという変化パターンとなっている。したがって、全循環停止もしくはそれに近い状況になると、十分に DO 濃度が回復しない状態で再度低下傾向となるため、底層 DO がゼロまで低下する時期が生じる。

底層 DO がゼロになる年は、現況では 10 ヶ年では生じていない※が、将来では 10 ヶ年に 0~4 回と幅があるものの、全循環停止等の影響により底層 DO がゼロとなる場合が生じる可能性があるとして予測された。

○ : 底層 DO がほぼゼロ

図 2.27 琵琶湖湖内の DO 変化
(今津沖中央、表層・底層)



2.4.4 影響評価

(1) 底層水の貧酸素化によるイサザの生息環境への影響

底層水の貧酸素化が琵琶湖の影響生態系へ及ぼす影響について、琵琶湖北湖に広く分布する底層利用種であるイサザ成魚の生息環境への影響を例として検討した。イサザの成魚は、昼間、沖合の温度躍層下（水深 30m 以深）で生活し、夜間には表層付近に移動して動物プランクトンを捕食し、日の出時には再び湖底に戻るとい、著しい日周期的鉛直回遊を行うことが知られている。成魚が湖沼の底層にとどまるのは概ね 12 時間程度と考えて、イサザの貧酸素耐性評価値として、「12 時間の暴露時間における 95% の個体が生存可能な溶解酸素量（12h-LC5）」（貧酸素耐性評価値）を用いて影響の予測評価を行った。

図 2.29 に示すような予測結果を用いて、各ケースで貧酸素層が最も拡大した際にイサザの生息可能な面積がどの程度縮小するのかを比較し、図 2.28 に示す。現況では、最大で 12.3% の縮小であるのに対し、将来は、37.2～60.1% と生息環境が縮小すると予測され、生息環境が縮小する可能性が示された。

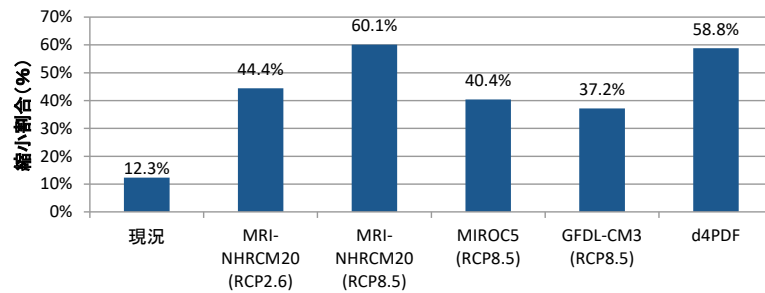


図 2.28 貧酸素層が最大となる年度におけるイサザの生息環境の縮小割合の予測結果

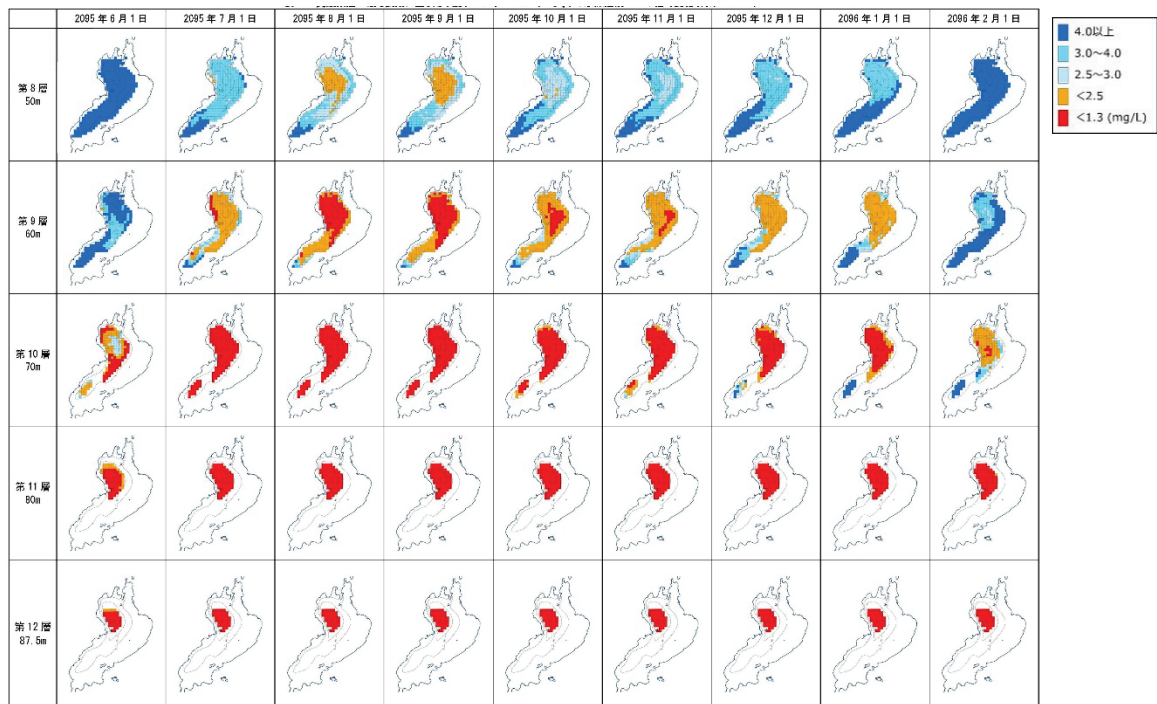


図 2.29 貧酸素層が最も長期に生じた年度における水深層別 DO の経時変化の予測結果

(2) 冷水性魚類等の生息適水温とのずれ

1) アユ成魚への水温変化の影響

琵琶湖における主な漁業対象種であるアユについて、水温変化の影響を検討した。

表 2.3 より、アユ成魚の生息に影響を与えられと考えられる水温を下表の最大値より 28℃と捉え、日平均水温が 28℃以上となる日数を比較した（図 2.30）。現況では 5.6 日/年であるのに対し、将来は 1.3 日/年の減少～約 72 日/年の増加となり、現況よりも高頻度で生じる可能性が示された。

表 2.3 アユの生息適水温

時期	最適水温域 (°C)	適水温域 (°C)	生存可能範囲	
			下限 (°C)	上限 (°C)
産卵期		14～25		
ふ化期	13～18	10～20		23
稚仔魚期	12.5～18	7～25		
未成魚期	11～22	9～22		
成魚期		14～25		
[飼育]	20～25	10～28		
[遡上期]	11～22	9～22		
[越冬休眠期]				

出典) 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理 (社団法人 日本水産資源保護協会, 1976)

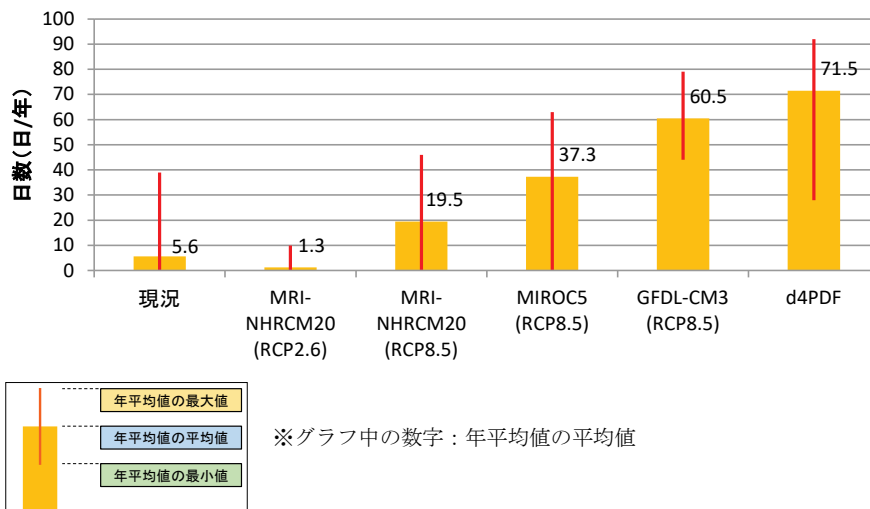


図 2.30 琵琶湖(今津沖中央)での表層水温が 28℃以上となる日数

(3) 春先の融雪水量の減少

図 2.31 より、姉川では、融雪期（現況で河川流量の増加傾向が見られる 3～5 月で設定）における流量が、将来では全ケースで小さくなる傾向が見られ、現況に対して 5%～32%減少すると予測され、融雪水量の減少の可能性が示された。

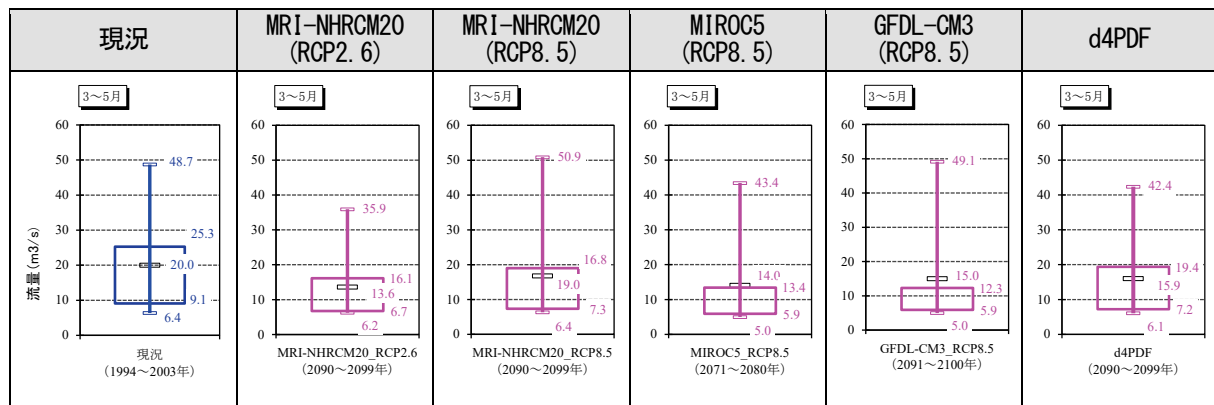
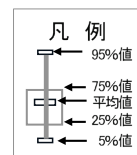


図 2.31 姉川における融雪期(3～5月)の流量の変化



(4) 影響評価のまとめ

① 底層水の貧酸素化によるイサザの生息環境への影響

底層水の貧酸素化が琵琶湖の影響生態系へ及ぼす影響について、琵琶湖北湖に広く分布する底層利用種であるイサザ成魚の生息環境への影響を検討した。貧酸素層が最も拡大した際にイサザの生息可能な面積がどの程度縮小するのかを比較した結果、現況は最大で 12.3%の縮小であるのに対し、将来は 37.2～60.1%と生息環境が縮小すると予測され、生息環境が縮小する可能性が示された。

② 冷水性魚類等の生息適水温とのずれ（アユ成魚への水温変化の影響）

アユ成魚の生息に影響を与えと考えられる水温を既存資料より 28℃と捉え、日平均水温が 28℃以上となる日数を比較した。現況では 5.6 日/年であるのに対し、将来は 1.3 日/年の減少～約 72 日/年の増加となり、現況よりも高頻度で生じる可能性が示された。

③ 春先の融雪水量の減少

姉川では、融雪期にあたる 3～5 月における流量が、将来では総じて小さくなる傾向であり、現況に対して 5%～32%減少すると予測され、融雪水量の減少の可能性が示された。

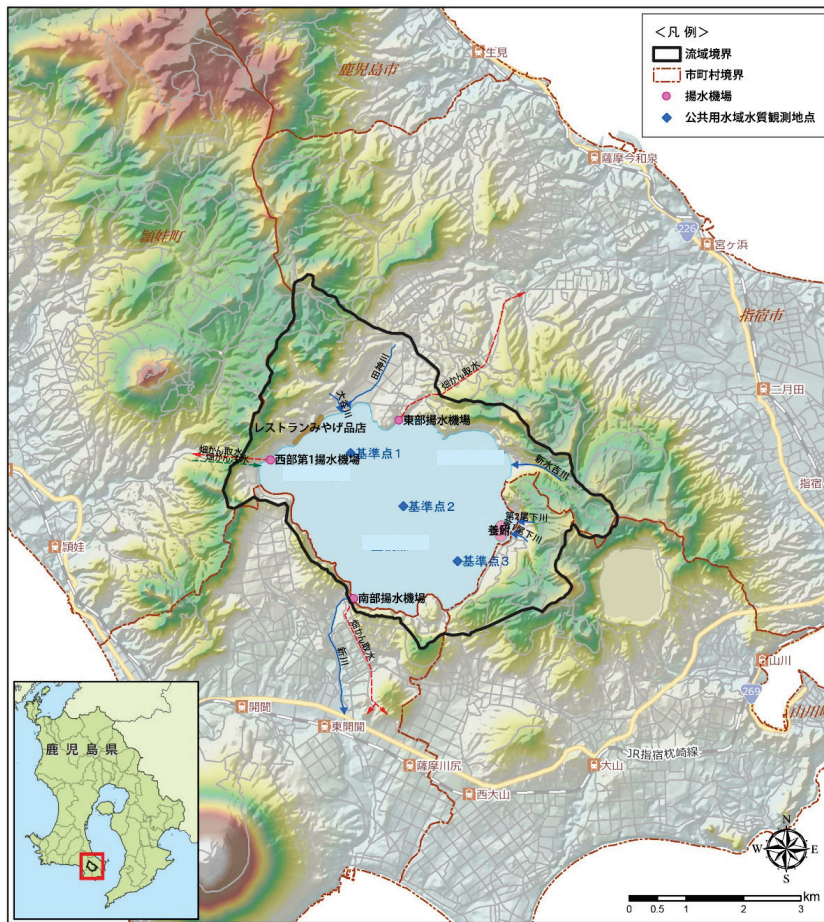
※上記の影響評価結果は、気温上昇が比較的小さいシナリオである RCP2.6 や、排出量が多く気温上昇が大きいシナリオである RCP8.5 (または 8.5 相当) の異なるケースを用いた将来予測による結果であり、予測結果には不確実性を含んでいることに留意する必要がある。

ここで示す内容は、あくまで手引きで示した方法を用いた検討例として示したものである。
 (具体的な影響予測・評価の検討において、各自治体での精査が必要である。)

2.5 池田湖における影響予測・評価

2.5.1 池田湖の概要

池田湖は図 2.32 に示すように、鹿児島県薩摩半島の南端に位置し、湖面積 10.95km²、集水面積 12.34km²、最大水深 233m の九州最大の湖である。水質は、昭和 4 年の調査によると、透明度は 26.8m で、当時としては摩周湖、田沢湖、猪苗代湖に次いで国内第 4 位であったが、昭和 30 年代以降、周辺地域における社会活動等に伴い水質汚濁が進行し、透明度は 5m 前後まで低下した。また近年、湖水の全循環が生じず長期にわたり継続し、底層水では 1990～2010 年までほぼ無酸素状態が継続したが、2011 年の全循環が生じて DO が回復した。また、この無酸素状態の継続により底層の全窒素、全りん濃度の上昇が見られたが、全循環に伴う表層水質への影響 (COD 等の急激な上昇など) は見られなかった。



【諸元】		【環境基準】					
湖面積	10.95 km ²	項目	類型	水質環境保全目標	平成30年度水質状況 (単位: mg/L)		
周囲	15 km				基準点1	基準点2	基準点3
海拔高度	66 m	COD	湖沼・A	3 mg/L 以下	1.6	1.7	1.5
最大水深	233 m	T-N	-	0.2 mg/L 以下	0.15	0.15	0.15
平均水深	125.5 m	T-P	湖沼・II	0.01 mg/L 以下	0.003	0.004	0.003
容積	14.7 億 m ³	備考: 水質環境保全目標の評価方法					
直接集水域面積	12.34 km ²	COD: 各基準点における全層平均の年間75%値。 ^{※)}					

※流域面積を除き国土地理院昭和47年測定之地図に基づく。

(出典)
 <図面>
 ・背景地図: © ESRNジャパン
 ・流域境界: 基礎地図情報(数値標高モデル10m)より作成
 ・揚水機場、頭かみ取水など: 第1期池田湖水質環境管理計画 平成23年3月 鹿児島県

<諸元・環境基準>
 第4期池田湖水質環境管理計画 平成23年3月 鹿児島県
 (類型は、平成24年版 環境白書 鹿児島県)

注) 75%値: 年間の調査結果のうち、濃度が低い方から並べて75%番目の値をいう。年間6回の調査の場合は、濃度が低い方から5番目の値となる。

図 2.32 池田湖の概要

2.5.2 水質予測モデルの構築

池田湖での水質予測モデルは、本検討で開発した水温・水質等の予測モデル（流域モデル・湖内モデル）を用いている。

流域からの流入は、八郎湖や琵琶湖と同様の流域水物質循環モデルを用いている（図 2.8）。湖内モデルは、水理モデルと水質モデルで構成され、空間分割として、水平方向一次元、鉛直多層の構造を持ち、水質モデルは物質の移流・拡散過程、水-底質相互作用を含む湖内の生化学反応過程を基盤とする生態系モデルを用いている（図 2.33）。

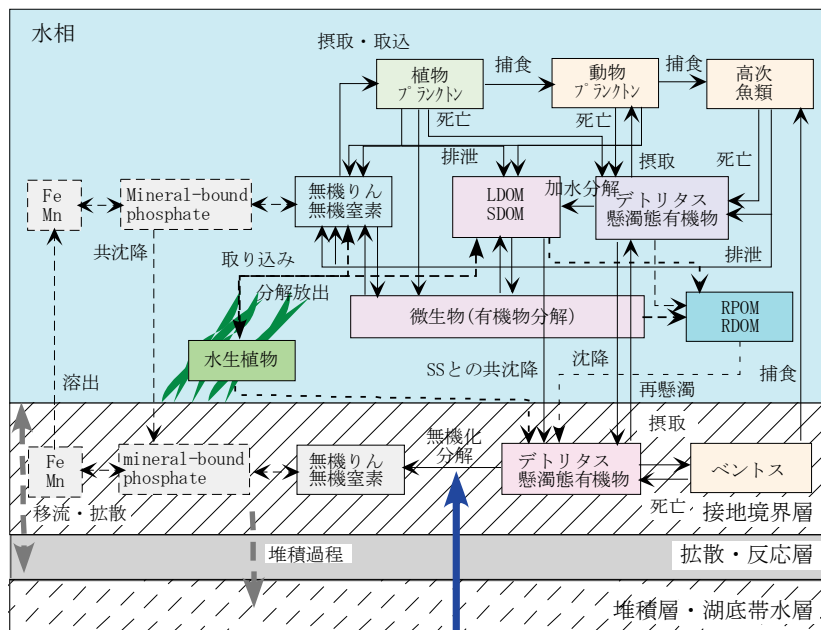


図 2.33 池田湖における湖内水質予測モデルの概要

2.5.3 将来予測

(1) 気象条件

将来予測計算に用いた気象条件の特性を図 2.34 に示す。気温については、現況では年平均気温（計算に用いた 10 年間の平均）が約 18.3℃であるのに対し、将来においては、RCP2.6 相当のケースで約 0.6℃の上昇、その他の RCP8.5 相当の 4 ケースでは平均約 3.5～5.1℃の上昇となっている。

年降水量は、現況で 2,562mm であるのに対し、将来においては 274mm の減少～1,744mm の増加となる。また、現況に比べて、将来ケースの方が各年のばらつきの幅が大きい。

なお、池田湖については、流域面積が 12.34km² と、湖面積 10.95km² とほぼ同程度であることから、他のモデル湖沼の八郎湖や琵琶湖と比べて、気象変化による流域からの流入水量や負荷量の変化、それによる湖水質の変化への影響は小さいものと考えられる。

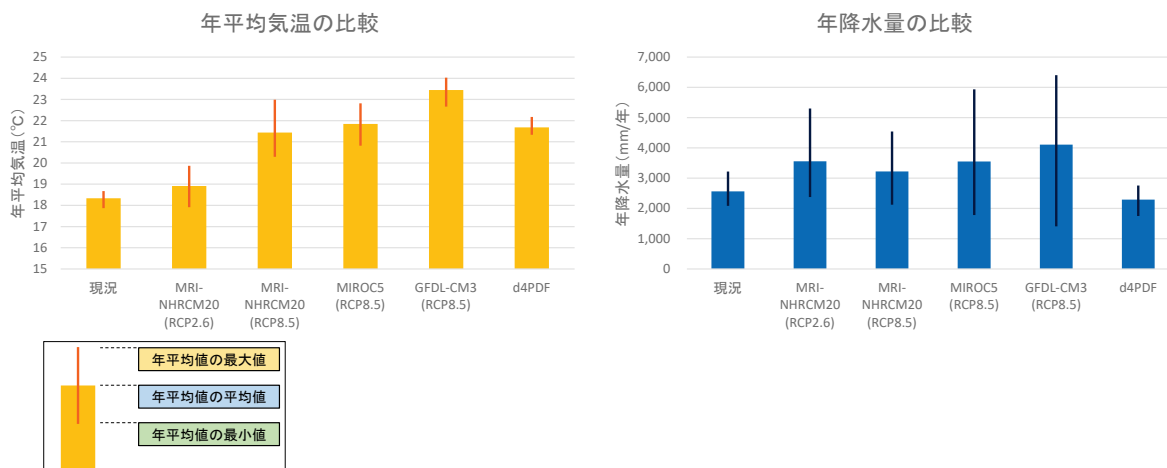


図 2.34 各ケースの気象状況の比較(池田湖, 流域平均)

(2) 湖内水温・水質の予測

1) 湖水温

池田湖の最深部の観測地点：基準点2における、水温予測結果を図2.35に示す。

表層水温は現況に比べて上昇し、将来は最高水温が35℃を超える年が増加し、現況では10ヶ年で1回であったものが、将来は10ヶ年で3～10回と増加すると予測された。

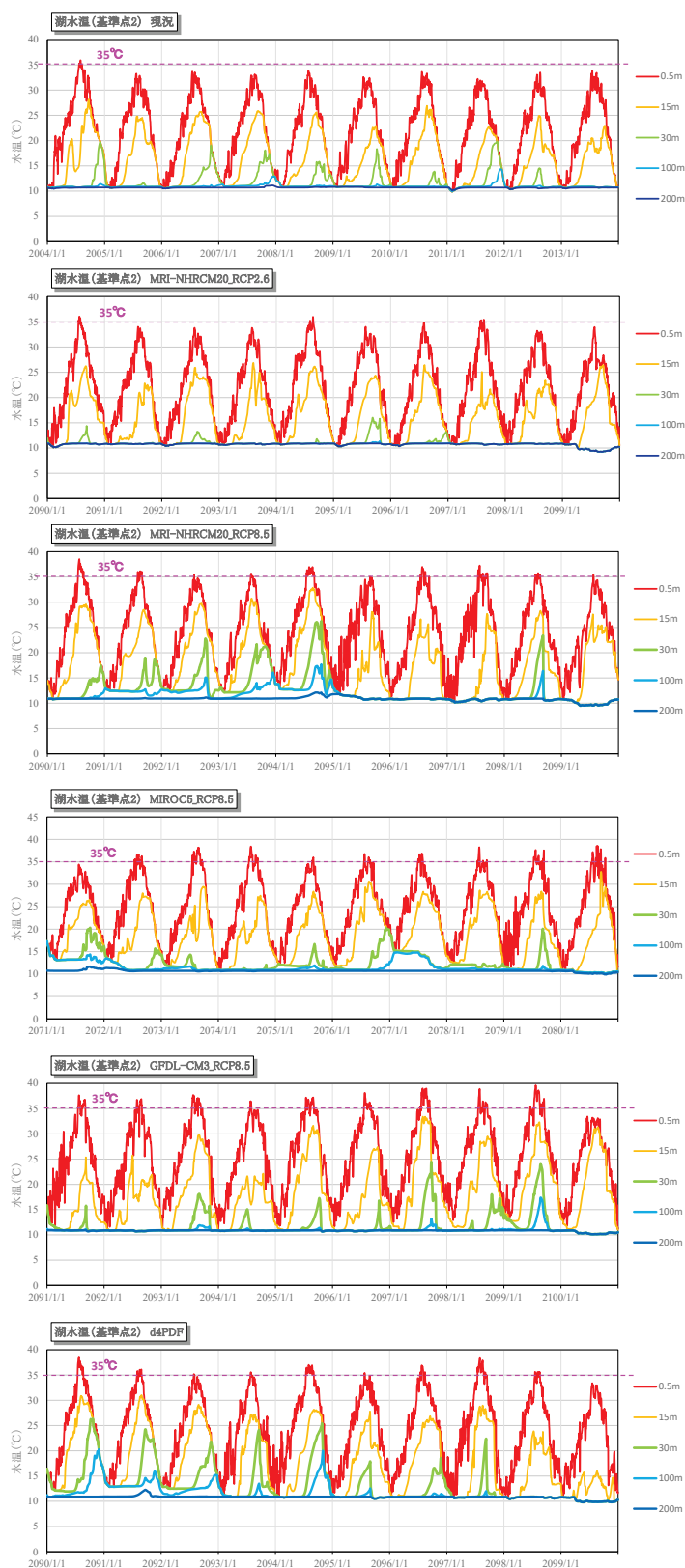


図 2.35 池田湖内の水温予測結果
(基準点2, 水深別)

2) 湖内 DO(溶存酸素)

池田湖の最深部の観測地点: 基準点 2 における、表層と底層での DO 予測結果を図 2.36 に示す。

現況では、2011 年に一定の回復(全循環ではないものの鉛直循環は生じた: 図 2.36 中の○印)、2012 年に全循環が生じている。将来においても、ケースにより違いがあり、10 ヶ年で 0~5 回程度の全循環が生じる結果となっている。

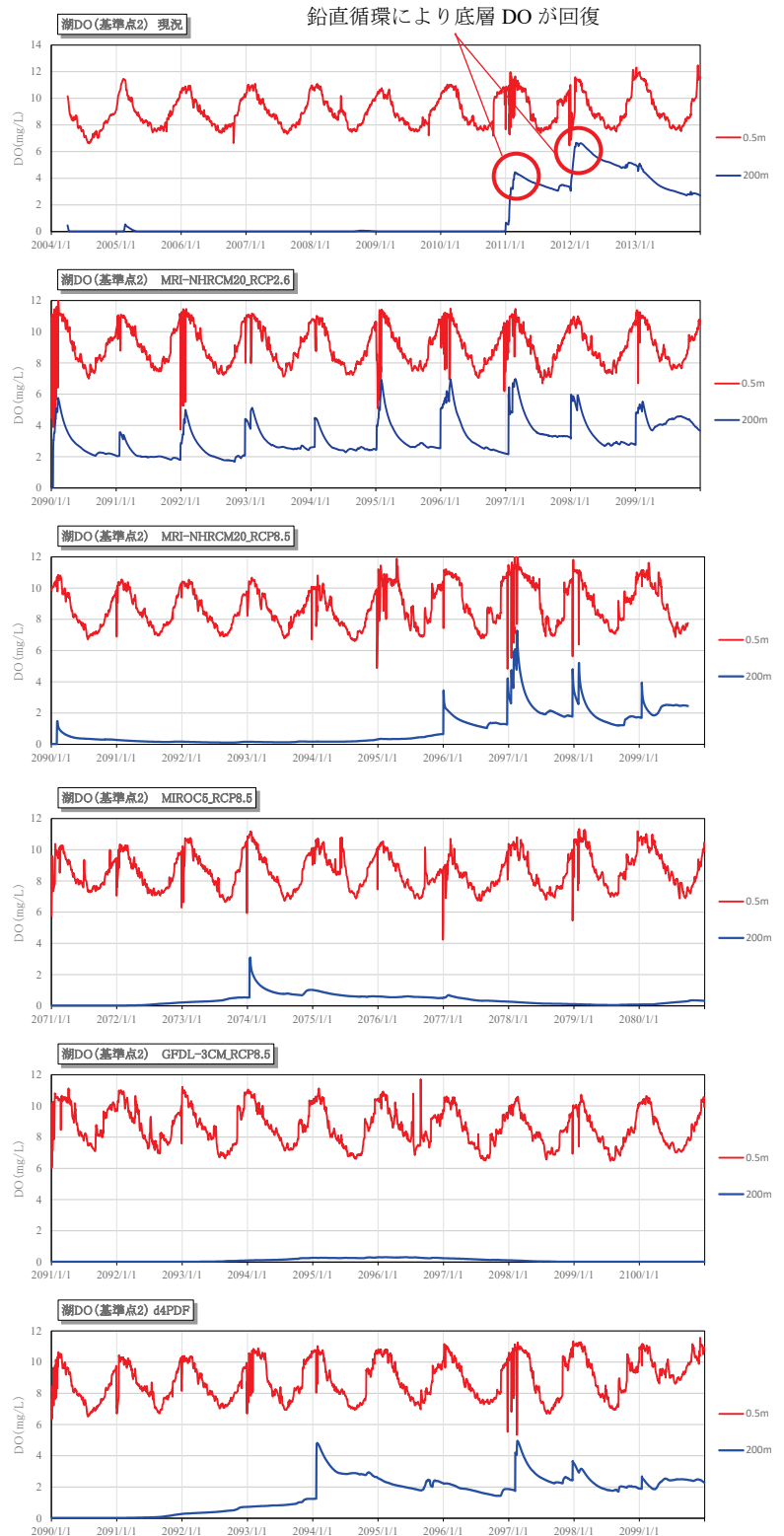


図 2.36 池田湖内の DO 予測結果
(基準点 2, 表層・底層)

2.5.4 影響評価

(1) 冬期全循環不全による影響(底層からの窒素、リンの溶出)

図 2.37 より、冬期全循環不全によって底層が貧酸素となっている期間においては、底層の栄養塩濃度が漸増する傾向が見られる。これは表層との水交換がない状況である上に、底泥からの供給(溶出)に起因する。全循環により表層との水交換があると、底層水の濃度が低下する。将来では、全循環が生じない年があり、表層との水交換がないことから、現況に比べて底層水の栄養塩濃度が増加すると予測されている。将来は全循環不全により現況よりも底層の栄養塩濃度が増加する可能性があることが示された。また、将来でも年によっては全循環が生じる。その場合、高濃度の底層水の影響によって表層の栄養塩濃度が上昇するような傾向は見られず、表層水質への影響は小さいと考えられる。

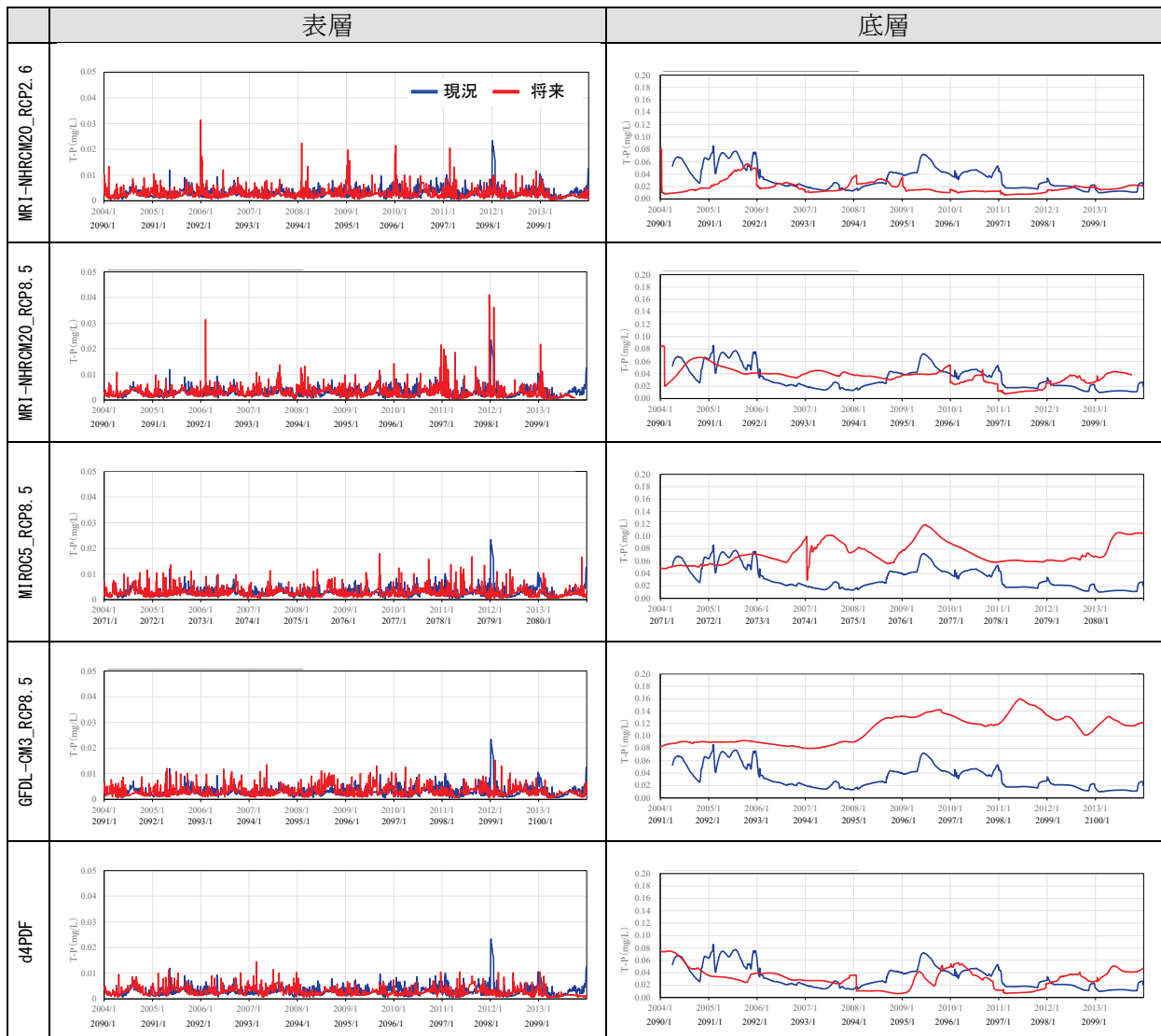


図 2.37 全りん(T-P)の予測結果(池田湖:基準点 2, 表層・底層)

(2) 水温上昇による影響(植物プランクトンの変化)

有機物量 (COD) の変化より植物プランクトンの変化を図 2.38 に示す。現況に比べて、将来ケースでは、夏期における濃度ピークを示す時期があり、内部生産の影響と考えられる。現況に比べると将来ではやや濃度が高くなる傾向がみられ、現況に比べて植物プランクトンの増殖が顕著になる可能性があることが示された。

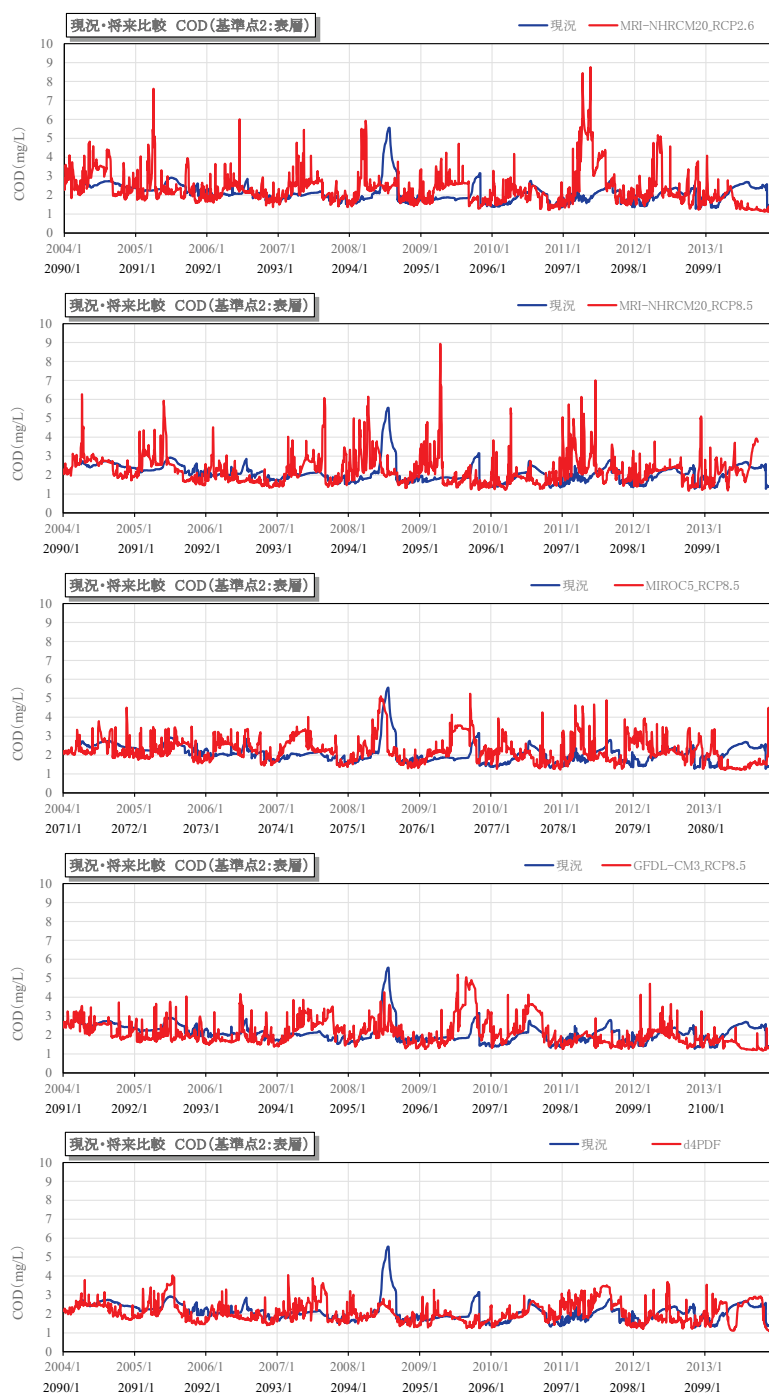


図 2.38 COD の将来予測結果(池田湖:基準点 2 表層)

(3) 影響評価のまとめ

① 冬期全循環不全による影響（底層からの窒素、リンの溶出）

将来は全循環不全により現況よりも底層の栄養塩濃度が増加する可能性があることが示された。ただし、その結果として高濃度の底層水の影響により表層の栄養塩濃度が上昇するような傾向は見られず、表層水質への影響は小さいと考えられる。

② 水温上昇による影響（植物プランクトンの変化）

現況に比べると将来ではやや濃度が高くなる傾向がみられる。夏期における濃度ピークを示す時期があり、内部生産の影響と考えられ、現況に比べて植物プランクトンの増殖が顕著になる可能性があることが示された。

※上記の影響評価結果は、気温上昇が比較的小さいシナリオである RCP2.6 や、排出量が多く気温上昇が大きいシナリオである RCP8.5（または 8.5 相当）の異なるケースを用いた将来予測による結果であり、予測結果には不確実性を含んでいることに留意する必要がある。