# 7. 琵琶湖における将来予測・影響評価

## 7.1 将来気象条件

琵琶湖における水質予測結果の傾向等を解釈するに際してポイントとなる各予測ケース の入力条件として用いた気象条件の特性を以降に整理する。

#### (1)年別値(年平均気温、年降水量)のケース毎の比較

気温(図 7.1 の左)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(図 7.1 の右)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 7.1 各ケースの気象状況の比較(琵琶湖,流域平均)

#### (2) 規模の大きな降雨の比較

各ケースにおける 10 年分の日雨量を降順に並べ替え、規模の大きな降雨の生起状況を比較した(図 7.2)。MIROC、GFDL では、他のケースに比べて大きな日降水量の発生が見られる。今年度計算対象とした d4PDF は NHRCM と近い傾向となっている。



図 7.2 各ケースの日降水量の比較(琵琶湖,流域平均)

現況の 10 年間で第 10 位の日雨量<sup>\*\*</sup>(流域平均)以上の日雨量の生起回数(図 7.3)は、 将来気候のいずれのケースにおいても現況を上回り、将来、大雨の生起頻度は増加する傾向 である。



#### 図 7.3 各ケースの日降水量の発生頻度の比較(琵琶湖,流域平均)

【現況の10年間で第10位の日雨量※(流域平均)以上の日雨量の生起回数】

※10年間で第10位の日雨量:降雨強度の強い雨の発生頻度を比較するため、年1回相当程度の頻度と捉えるため設定した指標

図 7.4~図 7.9 に、各ケースにおける日および年での気象データを示す。MIROC、GFDL において、大きな日降水量の発生が見られ、年降水量の幅も大きい。









図 7.5 MRI-NHRCM20\_RCP2.6 の気象状況(琵琶湖,流域平均)









図 7.6 MRI-NHRCM20\_RCP8.5 の気象状況(琵琶湖, 流域平均)

図 7.7 MIROC5\_RCP8.5 の気象状況(琵琶湖,流域平均)





琵琶湖 年降水量(GFDL-CM3\_RCP8.5)

 3,500

 3,000

 2,500

 2,000

 1,500

 1,500

 500

 0

 2091

 2092

 2093

 2094

 2095

 2096

 2097

 2098

 2091





図 7.9 d4PDF の気象状況(琵琶湖,流域平均)

## 7.2 将来水質予測結果

#### (1) 流域からの流入

## 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示す。現況では年平均流量(10ヶ年の平均)が18.6m<sup>3</sup>/s であるのに対し、将来は13.8~18.3m<sup>3</sup>/s と流量が2~28%減少する。(図 7.10)
- ・融雪期にあたる 3~5 月においては、融雪による流量増加が、将来気候では小さくなる。現況では 3~5 月平均流量が 20.0m<sup>3</sup>/s であるのに対し、将来は 13.9~16.8m<sup>3</sup>/s と流量が約 16~31%減少する。(図 7.11)
- ・出水期にあたる 7~9 月では、現況と比較して、将来は、現況の最大流量を上回るような出水の生起頻度が増加するケースや、出水期以外の季節においても比較的規模の大きな出水が発生するケースがある。(図 7.12、図 7.13)

■通年



## 図 7.10 姉川における通年の流量変化



図 7.11 姉川における融雪期の流量変化





図 7.12 姉川における河川流量予測結果(日平均値、10年予測結果)



図 7.13 姉川における河川流量予測結果(10ヶ年平均・変動幅)

2) 河川水温

- ・将来予測の各ケースにおける将来の気温上昇の程度(図 7.1)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℃であるのに対し、将来は16.8~21.2℃と、現況
   に比べて1.1~4.5℃の上昇となっている。(図 7.14)
- ・夏期の水温について、現況では 30℃を超えることはないが、将来ケースでは、5 ケース中 4 ケースで毎年 30℃を超える結果となった。(図 7.15)









図 7.15 姉川における河川水温予測結果(日平均値、10年予測結果)



図 7.16 姉川における河川水温予測結果(10ヶ年平均・変動幅)

### 3) 河川水質(窒素・りん)

- ・T-N 濃度は、将来は、年間を通じて現況よりもやや濃度が高くなる傾向と予測された。ケースによって差はあるが、その差は大きくない。(図 7.17~図 7.20)
- ・T-P 濃度は、将来は、T-N よりもさらに濃度が高くなる傾向が強いと予測された。ケースによる差もT-N よりも大きくなっている。 (図 7.17~図 7.20)
- ・平均的な濃度が高くなるのは、主に流入量が減少していることによるものと考えられる。



図 7.17 姉川における河川水質予測結果(全窒素、日平均値、10年予測結果)



図 7.18 姉川における河川水質予測結果(全りん、日平均値、10年予測結果)



図 7.19 姉川における河川水質予測結果(全窒素、10ヶ年平均・変動幅)



図 7.20 姉川における河川水質予測結果(全りん、10ヶ年平均・変動幅)

### 4) 河川からの流入負荷量

### A) 年流入負荷量のケース毎の比較

河川からの流入負荷量の予測結果を図 7.21 に示す。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り、16%の減少~27%の増加と予測された。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、将来は現況に比べて概ね増加傾向であり 1%の減少~77%の増加 と予測された。T-N 同様に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。



図 7.21 各ケースの流入負荷量の比較(姉川)

## B) ケース毎の負荷量(日負荷量,年負荷量)の比較

各ケースにおける毎日および年ごとの負荷量について、図 7.22~図 7.27 に示す。GFDL においては、年によって大きな差が見られる。これは出水の生起状況に対応している。



図 7.23 流入負荷量(姉川, MRI-NHRCM\_RCP2.6)



















図 7.26 流入負荷量(姉川, GFDL-CM3\_RCP8.5)

2091 2092 2093 2094 2095

2096 2097

2098 2099

2100

2091 2092 2093 2094

2095 2096

2097 2098

2099 2100

図 7.27 流入負荷量(姉川, d4PDF)

#### (2)湖内

## 1) 湖水温(水温の鉛直循環の変化)

- ・ 今津沖中央における湖水温について、MRI-NHRCM20\_RCP2.6 および RCP8.5 の予測結果を
   図 7.28 に、RCP8.5 での4つの気候モデルでの湖水温の予測結果を図 7.29 に示す。
- ・後述の底層 DO の予測結果(図 7.36 参照)をあわせて見ると、冬季全循環が生じる時期(1 ~2月頃)において底層 DO が回復していることから、RCP2.6 では全循環不全は見られな かったが、RCP8.5 では 2093 年に全循環不全(弱化)の傾向が見られた。
- ・ 全循環が生じて全層で水温が一様になった後、さらに気温が低ければ底層も含めて全層で水温は低下する。これにより底層水温が低い状態になると、次の年に表層との水温差が大きくなりやすく、前年と同じ気温条件であっても全循環不全になりやすいと考えられる。
   一方で、RCP8.5 のように底層水温が高いと表層との水温差が小さくなり、冬に同じ気温条件でも全循環は生じやすい。このため、全循環不全は冬の気温だけでなく、前年の気候影響にも関係しており、結果の解釈にあたっては留意が必要である。
- ・ 全循環不全(表層水温と底層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0回であったのに対して、将来は1~3回であり、気候モデルにより頻度の違いがあるものの、いずれのモデルでも全循環不全が生じる可能性があると予測された。



7-22

じにならなかった時)



7-23

): 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)

### 2) 湖水質

#### A) COD、T-N、T-P の変化

- ・ 今津沖中央における有機物(COD)および窒素、りんについての予測結果を図 7.30~図
   7.35 に示す。
- ・ MRI-NHRCM の RCP2.6 では、現況と比べて底層りん濃度がやや高く、それが表層に供給 され、表層 COD が夏に増加する傾向が見られる。また、現況より変動が大きくなってい る。RCP8.5 では、底層 DO がゼロになる 2093 年夏~秋に溶出が増加するため、底層りん 濃度が増加する。期間を通して底層りん濃度は高くなる。RCP2.6 と同様に、表層 COD 濃 度も高くなるが、増加する程度としては RCP2.6 と同等程度である。
- ・ RCP8.5 の4つの気候モデルともに、底層 DO がゼロとなる年では、底層 T-P 濃度が他の年より高くなる傾向が見られる。
- ・ MRI-NHRCM では 2093 年冬に、GFDL では 2095 年冬に濃度が上昇し、現況の最大値より も 2 倍以上の濃度になる時期が生じる。d4PDF では、2095 年冬に濃度が上昇し、現況の最 大値の 3 倍以上の濃度になる時期が生じる。d4PDF では底層 DO がゼロまたはそれに近い 期間が 2094 年から 2095 年にかけて 2 年程度継続していることに起因すると考えられる。
- ・ T-N について、底層の濃度は気候モデルによる明瞭な違いは見られない。
- ・ 有機物量(COD)について、表層では、MRI-NHRCM、MIROC は現況の最大濃度を超える
   時期が生じるが、GFDL は現況と同程度の濃度、d4PDF では現況よりも低い濃度と予測された。



図 7.30 琵琶湖(北湖:今津沖中央)における湖水質の予測結果:現況



図 7.31 琵琶湖(北湖:今津沖中央)における湖水質の予測結果:MRI-NHRCM20\_RCP2.6







図 7.33 琵琶湖(北湖:今津沖中央)における湖水質の予測結果:MIROC5\_RCP8.5



図 7.34 琵琶湖(北湖:今津沖中央)における湖水質の予測結果:GFDL-CM3\_RCP8.5



図 7.35 琵琶湖(北湖:今津沖中央)における湖水質の予測結果:d4PDF

B) DO(溶存酸素)の変化

- ・ 今津沖中央における DO についての予測結果を図 7.36、図 7.37 に示す
- ・ MRI-NHRCM20 の RCP2.6 では、全循環不全となる年が見られないことから、底層 DO の 低下については、底層 DO 濃度の最小値が約 2mg/L と現況と同程度である。RCP8.5 では、 冬季全循環不全(弱化)となった 2093 年に底層 DO が十分回復せず、その年の夏に底層 DO がゼロまで低下する。また、2096 年には全循環により底層 DO は回復しているが、夏 ~秋にはゼロ近くまで低下しており、底層での DO 消費が早くなっている。
- RCP8.5 相当の4つのケースのいずれにおいても、底層での DO 濃度がゼロとなる時期が生じている。
- ・ その発生回数は、現況では1回も生じていないのに対して、将来は10ヶ年中1~4回となっている。
- ・ 底層 DO がゼロとなる要因としては、全循環不全によって鉛直循環による DO 回復が小さいことに加え、水温の上昇に伴い DO 消費速度が大きくなることが挙げられる。
- ・また、GFDLの2095年、d4PDFの2094年の全循環不全では、その時期の底層DO濃度の 回復が小さくなり、翌年の冬季全循環までの間、底層DO濃度が2mg/L未満となる状況が 継続すると予測された。





気候モデルの違いによる比較

🔾 : 底層 DO がほぼゼロ

## 7.3 影響評価

琵琶湖における水質・生態系の影響については、以下の検討対象について予測結果を踏ま えて整理する。

ただし、下表でのカッコの項目については、本調査では影響評価の整理は行っていない。

水環境の変化	影響を評価するための指標	検討対象*
タチム従連ってム	①底層水の貧酸素化、底層利用種の酸欠	•
~学王 個現の 个王	②底泥からの窒素、りんの溶出	(●)
	③冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	•
ᇪᅭᇃᅭᅣᄇ	④植物プランクトンの変化	(●)
湖水温の上升	⑤魚類等の生息水深の変化	0
	⑥底泥からの窒素、りんの溶出	(●)
湖面結氷の変化	⑦湖面結氷の短期化	_
	⑧植物プランクトン発生時期・量の変化	•
融雪時期の変化による流入量・ 栄養塩供給時期の変化	⑨春先の栄養塩供給量の減少	•
	⑩春先の融雪水量の減少	•
降雨強度の変化による出水時流	⑪浮遊物質量、透明度の変化	
入栄養塩量の増加	⑩植物プランクトンの変化	(●)
降水量の減少による平常時流入 量の減少	13植物プランクトンの変化	(•)

表 7.1 琵琶湖における評価項目

※:検討対象の凡例

 ●:定量評価:気候変動関連性が高く、比較的定量的にその影響がわかりやすく表現できると考えられるもの
 ○:定性評価:定量化は困難と考えられるものの気候変動との関連と生物生態系や人に対する影響を定性的に 検討しておくことが望ましいと考えられるもの

-:該当なし

空欄:気候変動による影響の程度、機構が明らかでない、または検証データが不足するため今回は検討対象としない。今後の課題とする。

(●): 今回整理を行っていない。(同趣旨の整理を、八郎湖を対象に実施)

#### (1)冬季全循環不全

#### 1) 冬季全循環が生じる時期の変化

水質予測モデルによる琵琶湖水温の予測結果を用いて、琵琶湖における冬季全循環とな った日付について整理すると、下図の通りとなった。

現況では、1/13~2/17 で発生しており、RCP2.6 (NHRCM2.6) のケースでも、概ね同じ傾向である。

**RCP8.5**のケースでは、4 つのうち 3 つのモデルで、バラツキが大きくなっている。日付 が早くなる年や、3 月以降となる年も生じると予測されている。

将来においては、現況よりも全循環の生じる日の早期化や、遅れが生じる頻度が多くなる 傾向にあることが想定される。



#### 図 7.38 各将来予測ケースにおける琵琶湖(北湖)における全循環が生じた日付

※現況、将来の各ケースの10ヶ年の気象条件を用いた解析結果について、各年の日付を表示 ※全循環が生じた日付の算出方法

今津沖中央が該当するメッシュにおいて、第2層(2.5-7.5m)と最下層(85-90m)の密度差が0.03g/L\* 未満をとなった状態を全循環した状態と仮定して、その年の冬に初めて0.03g/L未満となった日とし て算出

\*2006~2007 年冬に全循環が約半月だけ観測されたデータから、その時の密度差が 0.03g/L であったことから設定した。

#### 2) 底層水の貧酸素化

・ 現況、将来 5 ケースでの計算期間 10 年間で、琵琶湖北湖でイサザの貧酸素耐性評価値 (2.5mg/L:12h-LC5)を下回る状況が最も長期間生じる年度について、琵琶湖北湖全域に おける溶存酸素の変化状況を比較した。

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。

図 7.39 に琵琶湖の湖底地形を示す。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 び湖底に戻るという、著しい日周期的鉛直回遊を行うことが知られている<sup>1)</sup>。成魚が湖沼 の底層にとどまるのは概ね 12 時間程度と考えられるため、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存酸素量(12h-LC5)」(以 下、「貧酸素耐性評価値」という)を用いて影響の予測評価を行うこととした。



図 7.39 琵琶湖の湖底地形と湖盆

<参考文献>

1)高橋さち子(1994)イサザの進化をたどる-海産ハゼから琵琶湖固有種へ.川と海を回遊 する淡水魚-生活史と進化-(後藤 晃・塚本勝巳・前川光司編),東海大学出版会, 東京, pp. 170-183.

### A) 水深別の貧酸素状況の変化状況

RCP2.6 及び RCP8.5 の気候データを用いて、琵琶湖北湖でイサザの貧酸素耐性評価値を 下回る状況が最も長期に渡って生じる年度について、水深別の溶存酸素の濃度の状態と、そ の経時的動態を表 7.3~表 7.8 に示す。予測結果の概要は表 7.2 のとおりである。

表 7.2 予測ケースにおける底層水の貧酸素化の予測結果

-		
現況 (2002 年冬期)		<ul> <li>・11月~1月にかけて琵琶湖北湖の最深部(今津沖の第一湖盆)を中心に、 イサザの貧酸素耐性評価値 2.5mg/L (12h-LC5)を下回る状況が生じた。</li> <li>・2.5mg/L を下回る状況は主に第 11 層以深で生じ、第 12 層では 1.3mg/L (12h-LC50)を下回る状況が生じた。</li> </ul>
将来	NHRCM20 RCP2.6 (2098 年冬 期)	<ul> <li>7月頃から、北湖南西部(近江舞子沖の第二湖盆)で2.5mg/L (12h-LC5) を下回る状況が生じ、主に水深 70m~50m程度の場所で貧酸素層が広がる と予測された。これは北湖南西部で TOC 濃度が比較的高くなったため、DO 消費がより進んだものと考えられる。</li> <li>9月~12月にかけては、北湖の最深部でも 2.5mg/L (12h-LC5) もしくは 1.3mg/L (12h-LC50)を下回る状況が生じた。</li> </ul>
	NHRCM20 RCP8.5 (2093 年冬期)	<ul> <li>7月頃から、北湖の最深部(第一湖盆の主に水深 80m 以深)で2.5mg/L(12h-LC5)を下回る範囲が生じ、その後、8月から12月頃までは、北湖の水深 70m~60m程度以深の深さで第一湖盆から第二湖盆にかけての広範囲に 2.5mg/L(12h-LC5)を下回る状況が生じた。</li> <li>9月~12月では北湖南部でも水深 60m以深で広範囲に1.3mg/L(12h-LC50) を下回る状況が生じた。</li> </ul>
	MIROC5mid RCP8.5 (2076 年冬期)	<ul> <li>7月頃から1月にかけて、北湖の最深部(第一湖盆の主に水深 80m 以深) で2.5mg/L(12h-LC5)を下回る範囲が生じた。</li> <li>8月~10月にかけては、北湖南西部(第二湖盆)の水深 70m~60m程度以 深の深さでも2.5mg/L(12h-LC5)を下回る状況が生じた。</li> </ul>
	GFDL-CM3 RCP8.5 (2094~2095 年 冬期)	<ul> <li>・ 2094年6月から2095年1月にかけて、北湖の最深部(第一湖盆の主に水深80m以深)で2.5mg/L(12h-LC5)を下回る範囲が生じ、全循環せずに1年以上にわたって貧酸素耐性評価値を下回る状況が生じた。</li> </ul>
	d4PDF (2095~2096 年 冬期)	<ul> <li>・5月頃から北湖の最深部(第一湖盆の主に水深 70m 以深)で2.5mg/L(12h-LC5)を下回る範囲が生じた。その後、7月~1月にかけては、北湖南西部(第二湖盆)の水深 70m~60m程度以深の深さでも2.5mg/L(12h-LC5)を下回る状況が生じた。</li> <li>・北湖の最深部(第一湖盆の主に水深 70m 以深)で2.5mg/L(12h-LC5)を下回る状況は2月初旬まで続き、2月中旬に循環が生じた。</li> </ul>

なお、図中の凡例は、イサザの生息に関わる溶存酸素量の目安としては、12h-LC5 以外 に、「12 時間の暴露時間における 50%の個体が生存可能な溶存酸素量(12h-LC50)」である 1.3mg/L 及び底層溶存酸素量の類型基準値<sup>\*\*</sup>も等も適宜利用し、以下のように設定した。

赤 : <1.3 未満	(1.3 mg/L:イサザの 12h-LC50)
橙 : 1.3 以上~2.5 未満	( <u>2.5mg/L:イサザの 12h-LC5</u> )
水色: 2.5 以上~3.0 未満	(生物 3 <sup>**</sup> : 2.0mg/L 以上 3.0mg/L 未満)
薄青: 3.0 以上~4.0 未満	(生物 2 <sup>**</sup> :3.0mg/L 以上 4.0mg/L 未満)
<mark>濃青</mark> :4.0 以上	(生物 1 <sup>**</sup> :4.0mg/L 以上)

※底層溶存酸素量の類型及び基準値:(お知らせ)水質汚濁に係る環境基準の追加等に 係る告示改正について(平成28年3月,環境省報道発表資料)

# 表 7.3 貧酸素層が最も長期に生じた年度(2002 年~2003 年・冬期)の水深層別 DO の経時変化(現況)

	2002年6月1日	2002年7月1日	2002 年 8 月 1 日	2002 年 9 月 1 日	2002年10月1日	2002年11月1日	2002年12月1日
第 8 層 50m					4.08/E 3.0~4.0 2.5~3.0 <.2.5 <.1.3 (mg/L)		
第 9 層 60m						Part -	Por a
第 10 層 70m					A Contraction of the second se	A BAR	A Contraction of the second se
第 11 層 80m					Real Parts	A Contraction of the second se	A Contraction of the second se
第 12 層 87.5m					A BOARD	Por Contraction of the contracti	Por a


	2098年6月1日	2098年7月1日	2098年8月1日	2098年9月1日	2098年10月1日	2098年11月1日	2098年12月1日
第 8 層 50m	4.00LE 3.0-4.0 2.2-5-3.0 <2.5 <1.3 (mg/L)						
第 9 層 60m	Contraction of the second seco	Contraction of the second seco	Por a	Contraction of the second seco	Contraction of the second seco	Contraction of the second seco	Por a
第 10 層 70m	A Bar	Por contraction of the second	Por a	A Bar	A Bar	A Bar	Real Port
第 11 層 80m	A BOARD	A BOARD		A BOARD	Real Parts	A BOARD	A Road
第 12 層 87.5m	Por Co	Por Co	Por Co	Por Contraction of the second	A Contraction of the second se	Por Co	Por Co

表 7.4 貧酸素層が最も長期に生じた年度(2098 年~2099 年:冬期)の水深層別 DO の経時変化(将来:NHRCM20\_RCP2.6 シナリオ)









# 表 7.8 貧酸素層が最も長期に生じた年度(2095 年~2096 年:冬期)の水深層別 DO の経時変化(将来:d4PDF)



## B) 貧酸素耐性評価値(DO:2.5mg/L)未満となる湖底面積の変化

- ・現況、及び将来において、貧酸素環境(貧酸素耐性値 12h-LC5 を下回る DO 環境)が最も 広範囲になった状況での、イサザの生息に不適な環境(底層溶存酸素が 2.5mg/L を下回る 環境)の推定面積は表 7.9 のとおりである。
- ・図 7.40、表 7.9 より、現況では、貧酸素のエリアが最大となったとき、イサザの生息面積 は 12.3%程度、縮小すると推定される。
- RCP2.6 のケース(NHRCM20\_RCP2.6)では最大で44%程度、RCP8.5 相当のケースでは、 最大で37~60%程度、イサザの生息可能な面積が縮小すると予測される。

各水深層における貧酸素環境の割合については、各水深層の最外郭メッシュのみを、イサ ザの生息域と仮定して算出した。また、各水深層の湖底の面積については、表 7.9 に示す値 を用いた。





# 図 7.40 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

水深	(層)	層別投影面積	累積投影面積 (ha)	
層	水深幅(m)	(ha)		
第6層	$30 \sim 40$	4, 380	39, 520	
第7層	$40 \sim 50$	5,130	35, 140	
第8層	$50 \sim 60$	6,850	30,010	
第9層	$60 \sim 70$	7, 290	23, 160	
第10層	$70 \sim 80$	7, 790	15, 870	
第11層	80~90	5,660	8,080	
第12層	$90\sim$	2,420	2,420	

表 7.9 水深別の投影面積と割合

## C) 将来における貧酸素環境(DO:2.5mg/L未満)の発生頻度

- ・5 つのケースの各条件で、底層溶存酸素がイサザの貧酸素耐性評価値を下回る状況の発生 頻度、及び琵琶湖北湖における貧酸素耐性評価値を下回る面積の変動予測は図 7.41、図 7.42 に示すとおりである。
- ・現況における貧酸素エリアの最大値 4,864.1ha を比較の目安とすると、RCP2.6 のケース (NHRCM20\_RCP2.6)では、10年間で、現況の最大値以上の面積が貧酸素状態になる状況 が5回生じると予測された。
- RCP8.5 相当の 4 ケースでは、現況の最大値以上の面積が貧酸素状態になる状況が 1~9 回 生じると予測された。



図 7.41 将来における貧酸素環境の発生規模と頻度(5 つのケースの比較, 1/2)



図 7.42 将来における貧酸素環境の発生規模と頻度(5 つのケースの比較, 2/2)

# D) 影響評価のまとめ

以上を踏まえ、琵琶湖における水温変化による冬季全循環不全が「底層水の貧酸素化」、 「底層利用種の酸欠」に与える影響については、表 7.10の状況が予測される。

表	7.10	予測ケースごとの底層水の貧酸素化による底層利用種への	の影響の予測結果整理
---	------	----------------------------	------------

現況		・ 貧酸素化の影響は、主に、琵琶湖北湖の最深部(今津沖の第一湖盆)の水深 80m 以深に限られ、イサザの生息面積の縮小はその量が <u>最大となる年では 12.3%と推 定された。</u>
	NHRCM20 _RCP2.6	<ul> <li>北湖の最深部での貧酸素化の状況は、現況と大きく異ならないが、現況では、貧酸素化の影響を受けていない北湖南西部(近江舞子沖の第二湖盆)の水深 60m ~70m付近で、7 月~12 月にかけて広範囲に貧酸素状態が生じる可能性が示された。</li> </ul>
		<ul> <li>シミュレーションでは、現況の最大値を上回る貧酸素化が、10年間で5回生じていることから、現況よりも、イサザの生息に適さない貧酸素状況が生じやすくなり、その面積も拡大すると予測される。</li> </ul>
		<ul> <li>         ・ 貧酸素化が生じる際には、同じく生息面積の縮小は<u>最大となる年で 44%程度縮</u> <u>小</u>すると可能性が示された。         </li> </ul>
	NHRCM20 _RCP8.5	<ul> <li>7月~1月にかけて、北湖の南西部(第二湖盆)から北部の最深部(第一湖盆)</li> <li>で貧酸素化が生じる可能性が示された。</li> </ul>
		・シミュレーションでは、現況の最大値を上回る貧酸素化が、10年間で9回生じていることから、イサザの生息に適さない貧酸素状況の発生頻度が RCP2.6と比較しても高まると予測される。
		・貧酸素化が生じる際には、同じく生息面積の縮小は <u>最大となる年で 60%程度縮</u> 小する可能性が示された。
将	MIROC5mid _RCP8.5	<ul> <li>7月~1月にかけて、北湖の南西部(第二湖盆)から北部の最深部(第一湖盆) で貧酸素化が生じる可能性が示された。</li> </ul>
来		<ul> <li>・シミュレーションでは、現況の最大値を上回る貧酸素化が、10年間で1回生じると予測され、イサザの生息に適さない貧酸素環境が現況に比べて広範囲に生じると予測される。</li> </ul>
		・貧酸素化が生じる際には、同じく生息面積の縮小は <u>最大となる年で 40%程度縮</u> 小する可能性が示された。
	GFDL-CM3	・北湖北部の最深部(第一湖盆)で貧酸素化が生じる可能性が示された。
	_RCP8.5	<ul> <li>・シミュレーションでは、現況の最大値を上回る貧酸素化が、10年間で4回生じ、 全循環不全の年も生じていることから、イサザの生息に適さない貧酸素状況の 発生頻度・期間が RCP2.6 と比較しても高まると予測される。</li> </ul>
		・貧酸素化が生じる際には、同じく生息面積の縮小は <u>最大となる年で37%程度縮</u> 小する可能性が示された。
	d4PDF	<ul> <li>北湖の最深部(第一湖盆)での貧酸素化の状況は、現況と大きく異ならないが、 現況では、貧酸素化の影響を受けていない北湖南西部(第二湖盆)の水深 60m ~70m付近で、7 月~1 月にかけて広範囲に貧酸素状態が生じる可能性が示さ れた。</li> </ul>
		<ul> <li>シミュレーションでは、現況の最大値を上回る貧酸素化が、10年間で4回生じていることから、現況よりも、イサザの生息に適さない貧酸素状況が生じやすくなり、その面積も拡大すると予測される。</li> </ul>
		・ 貧酸素化が生じる際には、同じく生息面積の縮小は <u>最大となる年で59%程度縮</u> 小すると可能性が示された。

(2) 水温上昇

### 1) 冷水性魚類等の生息適水温とのずれ

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。

#### A)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ると考えられる水温を表 7.11 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 7.43)。現況では 5.6 日/年であるのに対 し、RCP2.6 のケース(NHRCM20\_RCP2.6)では 1.3 日/年とやや減少するが、RCP8.5 相当 の4 ケースでは約 20~72 日/年と、現況よりも高頻度で生じる可能性が示された。

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

表 7.11 アユの生息適水温

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)



なお、これまでの水生生物保全環境基準類型指定専門委員会(環境省)においては、アユ は水温の適応範囲が広いこと及び生息分布の情報を踏まえ、冷水性の水生生物としてはあ えて分類していない。

### 2) 融雪時期の変化による流入量・栄養塩供給時期の変化

# A) 春先の融雪水量の減少

・姉川では、現況では生じていた 3~5月(融雪期)における流量が、将来では総じて小さく なる傾向となり、5%~最大 32%減少すると予測され(図 7.44、図 7.45)、融雪水量が将 来減少する可能性が示された。







図 7.45 姉川における流量の変化(10ヶ年平均、日平均で整理)

#### B) 春先の栄養塩供給量の減少

- ・融雪期の姉川における河川流入量(図 7.46)は、現況に比べていずれの将来ケースも流量 は減少するが、流入負荷量(T-P)は傾向が異なり、MIROC、GFDL、d4PDFではT-Pが現 況よりも多くの負荷量が流入する結果となっている。
- ・これは、出水時の高濃度負荷流入の影響であり、りんについては窒素に比べて出水時の高 濃度負荷流入の影響が大きいことによるものと考えられる(図 7.47、図 7.48)。
- ・負荷量の変化の程度は、窒素で-30%~-9%、りんで-16~+25%と予測された。



総流入負荷量(T-N,通年)

図 7.46 姉川における融雪期の負荷量変化(10ヶ年平均、T-N, T-P, 総流入量)



図 7.47 姉川における融雪期の負荷量変化(10ヶ年平均・変動幅、T-N)



図 7.48 姉川における融雪期の負荷量変化(10ヶ年平均・変動幅、T-P)

# 7.4 将来予測・影響評価とりまとめ(琵琶湖)

### 7.4.1 将来の気象変化

気温(図 7.49 の左)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(図 7.49 の右)は、現況で 1,724mm に対し、将来では 45mm の減少~211mm の 増加となった。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 7.49 将来の気象変化(年平均気温,年降水量)

現況の 10 年間で第 10 位の日雨量<sup>\*\*</sup>(流域平均)以上の日雨量の生起回数(図 7.50)は、 将来気候のいずれのケースにおいても現況を上回り、将来、大雨の生起頻度は増加する傾向 である。



図 7.50 各ケースの日降水量の発生頻度の比較(琵琶湖,流域平均)

#### 7.4.2 将来の気候変動によって想定される影響

琵琶湖での予測結果および影響評価をとりまとめ、表 7.12 に示した。以下に摘要する。

#### (1) 冬季全循環が生じる時期の変化

将来においては、現況よりも全循環の生じる日の早期化や、遅れが生じる頻度が多くなる傾向にあることが想定される。

#### (2) 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。

### (3) 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る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。

#### (4) 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。

# 表 7.12 琵琶湖における影響評価のまとめ

予測結果	水環境の変化	影響を評価するための指標	検討対象 <sup>※1</sup>	影響評価	備考
<ul> <li>■水温の上昇</li> <li>・気温上昇に応じて水温が上昇すると予測された。</li> <li>・冬期の気温等の上昇によって、全循環が生じる時期が現況より時期の幅が広がる。</li> <li>・RCP8 5<sup>※2</sup>では4ケースともに10か年中1~3回の冬</li> </ul>	冬季全循環の不全	①底層水の貧酸素化、底層利用種の酸欠	•	<ul> <li>・全循環時の回復が小さく、また DO 消費速度の増加により成層時の底層水貧酸素化が生じる。底 層利用種(イサザ)の生息適水域の面積が減少する。</li> <li>・現況では、貧酸素エリアが最大となった時に、イサザの生息面積が約12.3%縮小するのに対し、 将来は約40~59%の縮小と生息可能面積の縮小が懸念される。また、現況では影響の出るエリ アは北湖北西部の最深部である今津沖の第一湖盆に限られるが、将来は近江舞子沖の第二湖盆 にも影響が生じる可能性が懸念される。</li> </ul>	
季全循環の不全が予測された。RCP2.6 では全循環不 全は予測されなかった。		②底泥からの窒素、りんの溶出	(●)	<ul> <li>・底層での濃度は上昇するが、全循環時に表層の水質(植物プランクトン、有機物量)への影響は 小さい</li> </ul>	
・全循環不全によって春先に底層 DO が回復しないこ とと、底層水温が高い等の影響によって DO 消費が 大きくなり、夏~秋にかけて底層 DO が貧酸素化す ると予測された。特に RCP8.5 では、10 ヶ年中 1~4 回、貧酸素化すると予測された。		③冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	•	<ul> <li>・表層ではアユの最高の適水温(28℃)を越える日数が RCP8.5 で増加するが、アユは水温が低い 下層への移動することで影響の回避が可能である。</li> <li>・湖産アユの産卵条件と考えられている流入水温が夏から秋にかけて 23℃を下回る時期が将来は 1ヶ月程度遅れる可能性がある。現時点で水温の上昇がアユの産卵にどのように影響するかは明 らかでなく、評価を行うことは困難と考えられるが、何らかの影響が生じる可能性について、留 意が必要である。</li> </ul>	
	湖水温の上昇	④植物プランクトンの変化	(●)	・将来ケースによっては、植物プランクトン(有機物量)が現況よりも増加する。	
		⑤魚類等の生息水深の変化	•	<ul> <li>・気温上昇による水温上昇について代表地点での変化を整理したが、魚類は移動するため面的に詳細に分析する必要があり、今回評価までは至らなかった。今後の課題である。</li> <li>・また、魚種はある程度の水温変化を許容するため、どのような水温が生態面で影響する等の知見も合わせて必要である。</li> </ul>	
		⑥底泥からの窒素、りんの溶出	(●)	②と同じ	
	湖面結氷の変化	⑦湖面結氷の短期化	-		
■融雪期の変化 <ul> <li>・現況、融雪の時期に融雪により流量が増加している姉川においては、RCP2.6、85の4ケースともに減少傾</li> </ul>	<ul> <li>市 融雪時期の変化によ</li> <li>頁 る流入量・栄養塩供給</li> <li>6 時期の変化</li> </ul>	⑧植物プランクトン発生時期・量の変化	•	・融雪期の流量は将来減少する傾向にあり、これに伴い流入負荷量も減少する。これによる湖内水 質への影響は、湖内代表地点だけでは評価が難しく、面的な傾向等、詳細な分析が必要であり、 今回評価までは至らなかった。今後、詳細に検討する。	
向となり、現況と比較して、期間総量として5~32%		⑨春先の栄養塩供給量の減少	•	⑧と同様	
の減少と予測された。		⑩春先の融雪水量の減少	•	⑧と同様	
■河川流量の変化(出水時)		①浮遊物質量、透明度の変化	-	_	
<ul> <li>・現況に比べて出水になるような雨量の大きい雨が発 生する日数が増加する。</li> </ul>	降雨強度の変化によ る出水時流入栄養塩	⑩植物プランクトンの変化	(●)	<ul> <li>・年によっては流入負荷量の現況の2倍以上増加が予測されたが、これによる湖内水質の変化に</li> </ul>	
・雨量の大きい雨が増えることで流入負荷量は、現況に 比べて最大で年間2倍以上になる年が生じると予測 された。	の増加			ついては⑧と同様に、詳細な分析が必要であり、今回評価までは至らなかった。今後の課題である。	
■河川流量の変化(平常時)					
<ul> <li>・通年で見ると、現況に比べて将来の降水量は、d4PDF ではやや減少、その他のケースでは現況よりもやや 増加と予測された。</li> <li>・一方、気温は将来上昇するため、降水量の大小の差は あるものの、将来ケースでは減少すると予測された。</li> </ul>	降水量の減少による 平常時流入量の減少	⑬植物プランクトンの変化	(●)	⑫と同様	

※1:検討対象の凡例

●:定量評価:気候変動関連性が高く、比較的定量的にその影響がわかりやすく表現できると考えられるもの

○:定性評価:定量化は困難と考えられるものの気候変動との関連と生物生態系や人に対する影響を定性的に検討しておくことが望ましいと考えられるもの

-:該当なし

※2:文中の RCP8.5 には d4PDF(4℃上昇シナリオ)も含んでコメントしている。

(●):本検討では琵琶湖を対象とした整理を行っていない。(同趣旨の整理を八郎湖を対象に実施)

# 8. 池田湖における将来予測・影響評価

## 8.1 将来気象条件

池田湖における水質予測結果の傾向等を解釈するに際してポイントとなる各予測ケース の入力条件として用いた気象条件の特性を以降に整理する。

### (1)年別値(年平均気温、年降水量)のケース毎の比較

年平均値の平均値 年平均値の最小値

気温(図 8.1 の左)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(図 8.1 の右左)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12.34km<sup>2</sup>と、湖面積10.95km<sup>2</sup>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。



9606 2007 2013	
将来:21世紀末頃	
NHRCM, d4PDF	:2090~2099 年
MIROC	:2071~2080年
GFDL	:2091~2100年

図 8.1 各ケースの気象状況の比較(池田湖,流域平均)

#### (2) 規模の大きな降雨の比較

各ケースにおける 10 年分の日雨量を降順に並べ替え、規模の大きな降雨の生起状況を比較した(図 8.2)。MIROC、GFDL では、他のケースに比べて大きな日降水量の発生が見られる。d4PDF と NHRCM は近い傾向となっている。



図 8.2 各ケースの日降水量の比較(池田湖,流域平均)

現況の 10 年間で第 10 位の日雨量<sup>\*\*</sup>(流域平均)以上の日雨量の生起回数(図 8.3)は、 将来気候において、d4PDFを除くケースにおいて現況を上回り、将来、大雨の生起頻度は増 加する傾向である。



### 図 8.3 各ケースの日降水量の発生頻度の比較(池田湖,流域平均)

【現況の 10 年間で第 10 位の日雨量※(流域平均)以上の日雨量の生起回数】

※10年間で第10位の日雨量:降雨強度の強い雨の発生頻度を比較するため、年1回相当程度の頻度と捉えるため設定した指標



図 8.4~図 8.9 に、各ケースにおける日および年の気象データについて詳細に示す。 MIROC、GFDLにおいて大きな日降水量の発生が見られ、年降水量の幅も大きい。



図 8.5 MRI-NHRCM\_RCP2.6 の気象状況(池田湖,流域平均)







2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099







図 8.7 MIROC5\_RCP8.5 の気象状況(池田湖, 流域平均)











図 8.9 d4PDF の気象状況(池田湖,流域平均)

# 8.2 将来水質予測結果

## (1) 湖水温

- ・池田湖の最深部の観測地点:基準点2における、水温予測結果を示す。(図 8.10~図 8.11)
- ・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1 回(年)であったものが、将来は 3~10 回と増加すると予測された。
- ・また、中層付近の水温上昇も現況よりも将来の方が多く見られる。
- ・鉛直循環の状況については、水温分布(図 8.10,図 8.11)だけでは明瞭でないケースもあ るが、後述する DO の鉛直分布(図 8.15,図 8.16)と合わせて見ると、現況、将来ともに 多くの年で全循環不全の状況を示す予測結果となっている。



図 8.10 池田湖(基準点 2)における湖水温の予測結果(1/2)



図 8.11 池田湖(基準点 2)における湖水温の予測結果(2/2)

### (2)湖水質

# 1) COD、T-N、T-P の変化

- 池田湖の最深部の観測地点:基準点2での、COD、窒素、りんの予測結果を図 8.12~図 8.14
   に示す。
- COD(表層)について、平均的な濃度レベルは、現況と将来で明瞭な差は見られない。各 ケースにおいて一時的に急激に濃度が上昇するのは、降雨に伴う流入増加による影響と考 えられる。夏期において濃度がピークを示す変化を呈しているものは内部生産の影響と考 えられる。
- T-N・T-P(表層)について、平均的な濃度レベルは、現況と将来で明瞭な差は見られない。
   各ケースにおいて一時的に急激に濃度が上昇するのは、降雨に伴う流入増加による影響と
   考えられる。







#### 2) DO(溶存酸素)の変化

- ・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予測結果を示す。(図 8.15~図 8.16)
- ・現況では、2011年に底層 DO 濃度が一定の回復(全循環ではないものの鉛直循環は生じた と考えられる:図 8.15中の左側○印)、2012年には底層 DO 濃度が表層に近いレベルま で回復(ほぼ全循環が生じたと考えられる:図 8.15中の右側○印)する結果となっている。
- ・将来においては、ケースにより違いがあり、0~5回程度の全循環が生じる予測結果となっており、年によっては全循環が生じると推察される。



図 8.15 池田湖(基準点 2)における湖 DO の予測結果(1/2)



図 8.16 池田湖(基準点 2)における湖 DO の予測結果(2/2)

# 8.3 影響評価

池田湖については、以下の検討対象について水質・生態系への影響を整理した。

水環境の変化	影響を評価するための指標	検討対象 <sup>※1</sup>
タチム従連のエム	①底層水の貧酸素化、底層利用種の酸欠	
冬学王循環の不主	②底泥からの窒素、りんの溶出	•
	③冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	_
ᇪᄮᆁᇱᅣᄇ	④植物プランクトンの変化	•
湖水温の上升	⑤魚類等の生息水深の変化	_
	⑥底泥からの窒素、りんの溶出	
湖面結氷の変化	⑦湖面結氷の短期化	_
	⑧植物プランクトン発生時期・量の変化	_
融雪時期の変化による流入量・ 栄養塩供給時期の変化	⑨春先の栄養塩供給量の減少	_
	⑩春先の融雪水量の減少	_
降雨強度の変化による出水時流	⑪浮遊物質量、透明度の変化	
入栄養塩量の増加	⑩植物プランクトンの変化	
降水量の減少による平常時流入 量の減少	13植物プランクトンの変化	

表 8.1 池田湖における評価項目

※:検討対象の凡例

●:定量評価:気候変動関連性が高く、比較的定量的にその影響がわかりやすく表現できると考えられるもの

○:定性評価:定量化は困難と考えられるものの気候変動との関連と生物生態系や人に対する影響を定性的に 検討しておくことが望ましいと考えられるもの

-:該当なし

空欄:気候変動による影響の程度、機構が明らかでない、または検証データが不足するため今回は検討対象としない。今後の課題とする。

## (1) 冬季全循環不全による影響

## 1) 底層からの窒素、りんの溶出

#### A) 底層の貧酸素化

・池田湖の最深部の観測地点:基準点2における、底層でのDO予測結果を示す(図 8.17)。
・冬季全循環不全によって底層DOが顕著に影響を受け、現況においても、底層DOがゼロとなる期間が長期にわたって継続している。将来は、RCP2.6のケースでは現況に比べて貧酸素化の程度が小さい傾向であるが、RCP8.5相当の4ケースでは、現況よりも貧酸素状況が顕著となり、全循環不全の状況に応じた濃度変化となっており、貧酸素化の程度がやや顕著になる可能性が示された。

#### B) 底泥からの溶出変化

- ・池田湖の最深部の観測地点:基準点2における、底層での全窒素、全りん予測結果を示す。
   (図 8.18、図 8.19)
- ・冬季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おり、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が、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 8.13、図 8.14)



図 8.17 底層における DO の予測結果(池田湖:基準点 2)



図 8.18 底層における T-N の予測結果(池田湖:基準点 2)



図 8.19 底層における T-P の予測結果(池田湖:基準点 2)

#### (2) 水温上昇による影響

## 1) 植物プランクトンの変化

- ・ここでは、植物プランクトン変化への影響を内部生産の結果としての COD 変化より読み 取るものとして、図 8.20 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が顕著になる傾向にあり、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 8.20 COD の予測結果(池田湖:基準点2表層)
## 8.4 将来予測・影響評価とりまとめ(池田湖)

### 8.4.1 将来の気象変化

気温(図 8.21 の左)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(図 8.21 の右)は、現況で 2,562mm に対し、将来では 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12.34km<sup>2</sup>と、湖面積10.95km<sup>2</sup>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。



現況の 10 年間で第 10 位の日雨量<sup>\*\*</sup>(流域平均)以上の日雨量の生起回数(図 8.22)は、 将来気候において、d4PDFを除くケースにおいて現況を上回り、将来、大雨の生起頻度は増 加する傾向である。



図 8.22 各ケースの日降水量の発生頻度の比較(池田湖,流域平均)

### 8.4.2 将来の気候変動によって想定される影響

池田湖での予測結果および影響評価をとりまとめ、表 8.2 に示した。以下に摘要する。

### (1) 冬季全循環不全による影響(底層の貧酸素化、底層からの窒素、りんの溶出)

池田湖では、全循環不全によって底層 DO が顕著に影響を受け、現況においても、底層 DO がゼロとなる期間が長期にわたって継続している。将来は、RCP2.6 のケースでは現況 に比べて貧酸素化の程度が軽減される傾向であるが、RCP8.5 相当の4ケースでは、現況よ りも底層の貧酸素状況がやや顕著になる傾向と予測された。これらの結果より、将来も現況 同様に全循環不全の状況が継続するものの、年によっては全循環が生じる場合もあると予 測された。

また、全循環不全の顕著化に応じて、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。また、将来は、夏期 における濃度\*ピークが顕著になる傾向にあり、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。

※植物プランクトンの変化は COD 予測結果の変化から考察した。

予測結果	水環境の変化	影響を評価するための指標	検討対象 <sup>※1</sup>	影響評価	備考
<ul> <li>・湖面積に比べて流域面積は小さく、流域からの流入 量、負荷量の水質への影響は小さい。</li> <li>・気温の上昇に応じて湖水温は上昇する。</li> <li>・現況における表層水温の最高水温(約35度)に対して、将来(21世紀末)では、RCP2.6で3回、RCP8.5</li> <li>*2ではほぼ毎年超過すると予測された。</li> <li>・現況でも止まっている冬季全循環は、将来のケース全てで止まると予測されたが、RCP2.6のケースでは底層 DO は回復する。</li> <li>・RCP8.5のケースではすべて底層 DO がゼロとなる期間が複数伝統き、底層の容素、肉く濃度の上見が予測</li> </ul>	冬季全循環の不全	①底層水の貧酸素化、底層利用種の酸欠	—	_	
		②底泥からの窒素、りんの溶出	•	・RCP8.5 の4 ケースともに将来も底層の貧酸素化は生じ、底層水の窒素、りんの濃度は増加 するが、全循環時における表層の窒素、りん濃度の変化(影響)は小さい。	
	5 湖水温の上昇 <sup>月</sup>	③冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	_	_	
		④植物プランクトンの変化	•	<ul> <li>・表層の有機物濃度が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。</li> </ul>	
		⑤魚類等の生息水深の変化	—	—	
<ul> <li>高が後く、思信の主気、アル酸及のエデル・Fix</li> <li>された。</li> <li>・底泥溶出による窒素。りんの表層への影響は小さい。</li> </ul>		⑥底泥からの窒素、りんの溶出	•	(上記②と同じ)	
むしろ、水温上昇による有機物量の増加が大きい。	湖面結氷の変化	⑧湖面結氷の短期化	—	_	
		⑨植物プランクトン発生時期・量の変化	・         ・		
_	融雪時期の変化による 流入量・栄養塩供給時 期の変化	⑩春先の栄養塩供給量の減少	—	_	
		①春先の融雪水量の減少	_	_	
	降雨強度の変化による 出水時流入栄養塩の増 加	⑩浮遊物質量、透明度の変化	—		
		 ⑬植物プランクトンの変化	—	_	
_	降水量の減少による平 常時流入量の減少	(13と同じ)	_	_	

# 表 8.2 池田湖における影響評価のまとめ

※1:検討対象の凡例

●:定量評価:気候変動関連性が高く、比較的定量的にその影響がわかりやすく表現できると考えられるもの

○:定性評価:定量化は困難と考えられるものの気候変動との関連と生物生態系や人に対する影響を定性的に検討しておくことが望ましいと考えられるもの

-:該当なし

※2:文中の RCP8.5 には d4PDF(4℃上昇シナリオ)も含んでコメントしている。

# 9. 調査結果のとりまとめ及び今後の課題

## 9.1 検討結果のとりまとめ

本調査では、将来の気候変化(気候シナリオ)を想定するとともに、八郎湖、琵琶湖、 池田湖の3湖沼をモデル湖沼に選定し、気候変動による湖沼の水環境への影響を評価した。

ここでは、モデル湖沼における影響評価結果をとりまとめるとともに、検討の結果得ら れた気候変動が湖沼の水環境に与える影響を検討するにあたっての留意点を摘要する。

### (1)気候変動による各湖沼への影響

3つのモデル湖沼における影響評価結果の概要を以下に示す。

本調査では、評価の目安となる閾値等の情報が得られない等の理由から評価の対象外と した項目や、定量評価ができなかった項目もあり、以下に摘要した項目以外にも気候変動 による変化や影響が生じるものもあると想定される。これらについては、今後さらに影響 評価に係る情報を充実した上で、予測・影響評価を行う必要がある。

#### 1) 八郎湖

### A) 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着目して影響評価を行った 結果、気候変動に伴う気温の上昇により、八郎湖の水温が上昇し、生息に影響を与えるよう な高水温(既存資料より 30℃と設定)の発生が、現況に比べて高頻度で生じる可能性が示さ れた。

#### B) 植物プランクトンの変化

大雨の発生頻度の増加や規模の増大により、植物プランクトンの増殖が盛んとなる夏季 もしくはその前に大きな出水により大きな負荷が流入した場合、植物プランクトンが増殖 (クロロフィル a 濃度が現況に比べて上昇)し、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。また、融雪期の流入水量の減少(回転率の低下)や水温の上昇により、 植物プランクトンが増殖しやすい期間が長くなり、アオコ発生のリスクがある期間は将来 長くなる可能性があることが示された。

#### C) 結氷の変化

気温の上昇によって、結氷する日数が減少する可能性が示された。

### 2) 琵琶湖

#### A) 全循環不全・底層水の貧酸素化

将来は、全循環不全等の鉛直循環状況の変化等に伴い、底層部の貧酸素化の状況が現況 に比べてより顕著になる可能性が示された。また、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結果、イサザの生 息可能な範囲が縮小する可能性が示された。

#### B) 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)

アユ成魚の生息への影響について検討を行った結果、気候変動に伴う気温の上昇により、 琵琶湖の水温が上昇し、アユ成魚の生息に影響を与えるような高水温(既存資料より 28℃ と設定)の発生が、現況よりも高頻度で生じる可能性が示された。

#### 3) 池田湖

#### A) 冬季全循環不全による影響(底層からの窒素、りんの溶出)

将来は全循環不全等の鉛直循環状況の変化等により、現況よりも底層の栄養塩濃度が増 加する可能性が示された。ただし、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た。

### B) 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。また、将来は、夏の 濃度ピークが顕著になる傾向にあり、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。

### (2) 気候変動影響評価の検討にあたっての留意点

モデル湖沼での検討を通じ、気候変動による湖沼の水環境への影響を評価するにあたっ ての留意点として、以下のような点が挙げられた。

- ・影響評価にあたっては、水質環境基準等、年間を通じた平均的な変化(年平均値の変化等)というよりは、豪雨等、極端な気象変化による影響に、より着目することが重要である。
- ・水温の上昇による冷水性魚類の生息への影響や貧酸素化による底生魚への影響等が懸 念されるという検討結果が得られたが、評価に用いるしきい値等の情報が充分とは言 えないため、今後の調査研究課題としてその充実を図ることが重要である。

## 9.2 気候変動による影響評価の今後の課題について

本調査を開始した平成 25 年度時点は、気候モデル(将来気象予測)や適応策に関する研 究・検討が同時進行で進んでいる状況にあった。そのため、気候モデルのデータ等、適宜 最新情報を取り入れつつ、将来予測、影響評価等の検討を進めてきた。モデル湖沼での検 討にあたっては、表 9.1 に示すような課題があることを認識した上で、検討時点で得られ る最新のデータ・知見の中で対応した。現状では、例えば、気候モデルについては、d4PDF、 d2PDF 等、多ケース、長期間の将来気象予測データが提供されており、さらに研究開発が 進んでいる。今後、全国の湖沼における気候変動による影響の評価にあたっては、これら の課題を踏まえるとともに、検討時点の最新知見を充分把握した上で検討する必要がある。

表 9.1 気候変動による湖沼水環境への影響予測・評価に関する課題と本調査での対応等

区分	No.	項目	留意点・課題	本調査での取り扱い	今後の課題/対応の方向性
気候 モデル	1	時間・空間解像 度	気候モデルにより解像 度が様々であり、対象流 域、取り扱う現象、用い る予測モデル等に応じ て適切な解像度のデー タを用いる必要	・検討実施時点で常に気候モデル に関する最新情報を収集・把握 し、必要な時間・空間解像度の 視点から予測に用いるデータセ ットを選定	・d4PDF 等、詳細な時間・空間解 像度で、長期間の予測データが 提供されているデータセットを 使用 ・最新の研究成果を確認・反映
	2	予測期間	予測する期間の妥当性 (影響評価しようとす る事象による)	・計算資源の制約等から、対象デ ータセットで提供されている期 間から10年間を予測期間と設定 ・d4PDFを対象に予測期間の違い による差異を分析した結果、極 値的な現象を取扱う場合には予 測期間は長く設定した方が望ま しいことが判明	・No.1 と同様 ・可能な範囲で長い期間を設定
	3	将来条件設定	不確実性の評価、予測ケ ース数の設定	<ul> <li>・複数の気候モデル・排出シナリ オのデータセットを利用</li> </ul>	・No.1 と同様
	4	気象項目	予測モデルの入力条件 として必要な気象項目 の考慮	<ul> <li>気温および降水量を利用(その他の項目は現況と同じデータを使用)</li> </ul>	<ul> <li>湿度、日射量、風、雲量等、その他予測モデルの入力条件となる気象項目の利用を検討(近年のデータセットでは提供されているものもあり)</li> <li>入力条件として利用可能な精度であるかの確認が必要</li> </ul>
	5	将来の社会・経 済条件	将来の人口、土地利用、 産業等を踏まえた負荷 量の設定	・社会経済条件は未考慮	・最新の研究成果を確認した上で 検討(研究の進捗により利用可 能なデータセットが公表)
予測 モデル	6         再現性向上         将来のプ 変化の者           ランク         ランク		将来の水質メカニズム 変化の考慮 (例:植物プ ランクトン相変化 等)	・将来の変化は未考慮	・影響予測すべき事象の明確化 ・影響が生じた事例の収集等によ る知見の充実
			入力データの外挿 (出水 時の流入水質等)	<ul> <li>入手したモニタリングデータや</li> <li>既往知見の範囲内で設定</li> </ul>	・モニタリング・研究の充実
			局所的な再現性	・局所的な取り扱いは未考慮	・モデルの精度向上
影響 評価	7	影響評価手法	整理方法:統計値、極値 評価方法:指標、基準	・入手した既往知見・資料等に基 づいて設定	・調査・研究の充実 ・魚類など影響評価する事象に応 じた評価手法の確立
	8	湖沼の価値	価値の定量化	・検討の対象外	・調査・研究の実施(適応への取 組への動機となり得る)

以下に、特に本調査のモデル湖沼での検討を通じて把握・抽出された課題について示す。

### (1)気候モデルデータの解像度

シミュレーションモデルに入力するための将来気象データについて、時間的、空間的解 像度によっては、予測結果に大きな影響を与える。数 10km スケールの流域規模の湖沼に対 して、100km スケールの気候モデルのメッシュデータを用いた場合、特に降水量の設定が 過大になる可能性がある。

具体的には、現在気候を用いたバイアス補正を行うにあたり、気象官署のデータを用い たバイアス補正を行っているが、大きな降雨に対しては、気象官署での点のデータに対し て、例えば 100km 四方のメッシュ全体を補正することで、流域平均雨量を過大に与え得る ことが本調査での検討の結果確認されている。

近年、高解像度のシナリオデータの整備が進んできていることから、この課題は解決されると考えられるが、用いるシナリオデータのメッシュサイズと検討対象とする湖沼の流 域の大きさの関係には、今後も留意が必要と考えられる。

なお、参考として、気候モデルデータの空間解像度の影響に関する分析結果を次章(10 章)に示している。

### (2)局所的な水質変化を再現するシミュレーションの必要性

魚類の生息に与える影響等を詳細に検討するにあたっては、沿岸域の水質も含めた空間 分布を評価する必要がある。

また、人の生活環境に与える影響評価にあたっては、大規模な湖沼等の場合、水域にお ける中心(湖心等)の代表地点での水質ではなく、近く(沿岸)の水質変化が評価の対象 としては現実的である。

以上を踏まえると、局所的な評価を行うことができるシミュレーションモデルの構築(現 モデルの詳細な空間分布の再現性確認と改良を含む)が必要である。

#### (3) 影響評価基準(しきい値)

気候変動による水質変化の特徴には、気温上昇等、平均的な水質変化や、豪雨等、短期 間で生じる水質変化もある。これらの変化に対して、定量的な影響評価を行うにあたって は、湖沼における水質変化による影響の具体的な事例や知見の充実が不可欠である。

気候変動による水質変化の予測だけでは影響評価としては不充分であり、水質変化による人や生物への影響を評価する必要がある。しかし、現状ではこれらの変化による影響を 評価するための知見が少なく、例えば水温上昇により影響が生じた事例や、調査・研究等 も乏しい。 本調査で実施したような数値シミュレーションを行うことによって気候変動によって水 温や水質の変化予測は可能であるが、水温や水質が変化した結果、どのような影響がある のか、どの程度の水温や水質になれば影響があるのか(ないのか)を判断するためのしき い値等の評価指標が必要である。

特に、魚類等の生物の生態に関しては、水温や水質の変化によって、生物の生息や繁殖、 あるいは水産資源量等に影響が生じるかどうかといった影響が検討に用いることができる 指標に関する調査研究が必要である。(アユの産卵、成長、生息等に対する適水温や、え さ環境の影響 等)

なお、水産や水利用に関して水質環境基準値があるが、この値は年間平均値等に対する ものであり、異なる見方、評価方法により影響を評価する必要がある。

#### (4) 適応策を検討するにあたっての評価基準(計画年)

治水計画等では、例えば 50 年に1回の洪水に備える等の計画規模があり、それに対して 施策が実施される。

裏を返せば、それ以上の洪水が発生した場合には、被害が生じることとなり、気候変動 による影響を評価するにあたっては、以下のような視点が挙げられる。

- ・ 1/50の洪水流量が現況に比べてどの程度増えるのか?
- ・ 計画流量を確率評価すると現況 1/50 であるが、将来はどの程度の確率規模になるのか?(1/●)

本調査で取扱った事象は、利用もしくは生態系であることも考慮すると、評価方法とし ては、以下の視点が考えられる。

- ・ 閾値を設定し、確率年的な設定を行う。(●●が○○を上回る頻度が▲年に1回)
- 不可逆的もしくは致命的な影響項目を想定し、その影響が生じるか生じないかで評価する。

参考になる事例としては、水資源(利水)計画における目標が10年に1回の渇水である ことが挙げられる。いずれにしても、適応策の必要性を判断するにあたっては、以下に挙 げる情報の充実、調査研究が必要である。

- ・ 前項で示した生息環境や水産資源量に係る評価基準(閾値)に関する情報
- 他の分野で気候変動影響を評価するにあたって用いている評価指標の収集、調査・ 研究

# 10. 参考資料

気候変動による影響予測を実施するにあたって、シミュレーションモデルに入力するた めの将来気象予測データ(気候シナリオデータ)は、最も基本的なデータであり、検討対象 とするデータがそのまま予測結果を規定するといってもよい。

本調査では、平成25(2013)年度~令和2(2020)年度にかけて、気候シナリオに関する 研究等が年々進歩し、新たなデータの発表等がある中で、順次、最新の情報を収集して、予 測に用いる将来気象データを選定してきた。

最近では将来気象予測データの整備も充実してきているが、これまでは、限定されたデー タセットの中から条件を満たすデータセットを消去法的に選定せざるを得なかったことや、 種々の制約(予算、時間等)により、現実的な対応を行ってきたところである。

高解像度、多ケースの将来気象予測データの研究やデータ提供環境の整備が進んできて おり、今後さらなる進歩も期待される。このため、今後の検討にあたっては、将来気象予測 データに関して、上記のような課題は解決していくと想定されるが、本調査での検討の過程 で得られた知見について、今後も検討の参考になると思われる事項として、以下の3つを紹 介する。

- ・気候シナリオデータの空間解像度と予測結果について(10.1節)
- ・将来予測における予測期間と予測結果について(10.2節)
- ・気候モデルデータのバイアス補正について(10.3節)

## 10.1 気候モデルの空間解像度の違いについて

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、異なる気候モデル/排出シナリオによる将来の気象予測デ ータセットを用いるものとして、本調査の実施期間(平成25年~令和2年度)で入手可能 であったデータセットの中から、表 10.1 に示すデータセットを用いて予測・評価を行った。

これらのうち、②MIROC5 および③GFDL-CM3 の 2 つについては、表 10.1 および図 10.2 に示す通り、各モデル湖沼の流域に対して相当大きな(流域面積よりも大きい)サイズのメ ッシュとなっている。検討にあたっては、これらのデータをバイアス補正(予測モデルの現 在がアメダスデータ等の実測値を再現できるように補正する処理)した上で使用したが、計 算においてメッシュ内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。

	ケース名	①MRI-NHRCM20	②MIROC5	③GFDL-CM3	(a)d4PDF (by SI-CAT)	
気候モデル	気候モデル	MRI-NHRCM20	MIROC5	GFDL-CM3	MIROC5	
	水平解像度	<b>20km</b> 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 Amospheric 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	1 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°C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	本調査においてバイアス 補正を実施	同左	同左	バイアス補正済のデータ を入手	

表 10.1 将来予測に用いる気候モデルとその特徴







将来予測計算に用いた気象条件(各流域の流域平均)を以下に示す。

図 10.4 は、各ケースにおける 10 年分の日雨量を降順に並べ替え、規模の大きな降雨の生 起状況を比較したものであるが、MIROC、GFDL は、他のケースに比べて大きな日降水量の 発生が見られる。「4. 将来気象条件の設定」に示しているように、これらのケースは、実測 値の極値を適切に再現できるように改良した方法によってバイアス補正を施したデータで ある。計算においてメッシュ内は一様な気象条件を与えることになるが、これらのケースで は、1~4 メッシュのデータを流域全体に適用している。実現象としては、降雨は、流域内 に分布があるため、大きなサイズのメッシュデータに対し、極値を再現できるようにバイア ス補正した結果、流域全体の雨量を過大評価する可能性があることに留意が必要である。

図 10.4 の傾向を湖沼流域毎に見てみると、八郎湖では MIROC5>GFDL-CM3、琵琶湖、 池田湖では MIROC5<GFDL-CM3 となっている。さらに、図 10.2 に示したメッシュと流域 の関係を整理し、表 10.2 に示すが、メッシュ数が少ないケースにおいて、雨量を過大評価 する傾向が認められ、上記の可能性を示唆するものである。

	MIROC5・GFDL-CM3 における	流域に含まれるメッシュの数		
砌沼名	規模の大きな日降雨量の比較	MIROC5	GFDL-CM3	
八郎湖	MIROC5 $>$ GFDL-CM3	1メッシュ	4メッシュ	
琵琶湖	MIROC5 < GFDL-CM3	2メッシュ	1メッシュ	
池田湖	MIROC5 < GFDL-CM3	2メッシュ	1メッシュ	

表 10.2 MIROC5、GFDL-CM3 における極値の発生状況/流域とメッシュの関係

モデル湖沼の予測・評価結果に示した通り、気候変動が湖沼の水環境に与える影響として、 強い雨の降り方の変化による出水時流入負荷特性の変化が挙げられており、特に降雨の極 値に係る現象を取り扱う際には、流域内の降雨分布をある程度考慮できる程度のメッシュ サイズの気候シナリオデータを用いることが望ましいと言える。

本調査では、既述の通り、気候シナリオに関する研究等が年々進歩し、新たなデータの発 表等がある中で、順次、最新の情報を収集して、予測に用いるシナリオデータを検討・選定 してきた。限定されたデータセットの中から条件を満たすデータセットを消去法的に選定 せざるを得なかったことや、種々の制約(予算、時間等)により、現実的な対応を行ってき たが、近年は、高解像度、多ケースのシナリオデータ整備も進んできており、今後は、シナ リオデータに関する課題は解決していくと思われる。



(池田湖, 流域平均)

400

200

0



## 10.2 将来予測における予測期間と予測結果について(八郎湖での試算)

将来予測に用いる気候シナリオデータは、本調査の中で入手したデータセットでは、デー タ整備期間は20~30年程度であった。しかしながら、水質予測モデルの計算所要時間、計 算機スペック、その他各種のリソースの制約等も考慮した上で、様々な気象条件を含むなる べく長い計算期間とすることを考慮して、本調査における将来予測での計算期間を10年間 と設定して検討を行ってきた。

ここでは、将来予測において設定する計算対象期間の違いによって、予測結果がどのよう に変化するかを比較した結果を参考として示す。

具体的には、最も長い期間のデータを入手できた d4PDF を用いて、本検討で検討した 10 年間と、それより長い 30 年間を計算期間とした場合において、どのような違いが生じるか について、八郎湖を対象として予測計算を行い、比較・考察した結果を示す。

### 10.2.1 設定した将来気象条件

### (1)年別値(年平均気温、年降水量)のケース毎の比較

各気候モデルの将来気象データを年別値で整理し、図 10.5 に示す。d4PDF については 10 年と 30 年の比較を示している。

気温については、平均値、各年のばらつきともに、対象期間を10年、30年とした場合に おける差は小さい。

年降水量については、平均値の差は小さいものの、ばらつきについては、10年よりも30年の方が大きくなっている。



年平均気温の比較

図 10.5 各ケースの気象状況の比較(八郎湖,流域平均)

### (2) 規模の大きな降雨の比較



日降水量で比較すると、10年よりも30年の方が大きな降雨を含んでいることが分かる。

図 10.6 各ケースの日降水量の比較(八郎湖,流域平均)







図 10.8 日降水量の確率密度関数

各年での値を図 10.9 に比較した。年平均気温については、10 ヶ年と 30 ヶ年で最高と最低ともにほとんど同じであり、10 ヶ年、30 ヶ年のどちらも同程度の変動幅であった。

一方、年降水量では最小は 10 ヶ年、30 ヶ年ともに同じであったが、最大は 10 ヶ年では 2100mm 程度、30 ヶ年では 2500mm 程度と、2 割程度の差があった。降水量の方がより予測 期間の違いによる差が生じやすいと考えられる。



図 10.9 d4PDF の気象状況(八郎湖, 流域平均)

### 10.2.2 将来水質予測結果

## (1) 流域からの流出

## 1) 河川流量

・5%値~95%値の範囲では、融雪期、通年ともに、10年、30年での差は小さい。(図 10.10)
・年ごとの変化は、平均値での差は小さいが、変動幅は 30年の方がやや大きい。(図 10.12)

■通年



図 10.10 馬場目川における通年の流量変化



図 10.11 馬場目川における融雪期の流量変化



<d4PDF(10年)>



図 10.12 河川流量予測結果(対象年平均·変動幅)



・10年、30年での差はほとんどない。(図 10.13、図 10.14)

図 10.13 馬場目川における通年の水温変化







<d4PDF (30年) >

図 10.14 河川水温予測結果(対象年平均·変動幅)

### 3) 河川水質(窒素・りん)

・T-N については、平均値での差は小さいが、変動幅は 30 年の方がやや大きい。(図 10.15)
・T-P については、平均レベルに差異はないが、平均値の変化は 10 年の方が大きい。変動幅 は 30 年の方が大きい。(図 10.16)







図 10.15 河川水質予測結果(全窒素日平均値/対象年平均·変動幅)



<d4PDF (10年) >



図 10.16 河川水質予測結果(全りん日平均値/対象年平均・変動幅)

### 4) 河川からの流入負荷量

きい。

## A)年別値のケース毎の比較

(図 10.17、図 10.18)



T-N、T-P ともに平均値の差は小さいものの、ばらつきの幅は 10 年よりも 30 年の方が大







#### B) 年別の比較

各年の河川流入負荷量の比較を図 10.19 に示す。年流入負荷量は年流入量の変化と対応 しているが、負荷量の方が変化は大きい傾向にある、また、T-P においてその変化は顕著で あり、出水の生起状況に対応(出水時の高濃度負荷流入)している。



### (2)湖内水質

## 1) 湖水温

- ・5% 値~95% 値の範囲では、10年、30年での差は小さい。(図 10.20)
- ・年間の変化では、平均値での差は小さいが、変動幅は30年の方がやや大きい。(図 10.21)







## 図 10.21 河川水温予測結果(対象年平均·変動幅)

## 2) 湖水質

## A) 統計値の比較

・5%値~95%値の範囲では、10年、30年での差は小さい。(図 10.22)



図 10.22 八郎湖湖内の水質変化(調整池,湖心-表層)

B)年間変化の比較

・年間の変化では、平均値での差は小さいが、変動幅は30年の方が大きい。(図 10.21)

・Chl.a、COD、T-Pでは、夏~秋にかけての変動幅が大きく、出水に伴って流入した栄養塩 を利用して植物プランクトンが増加し、CODも増加するという現象が生じると予測されて いる。



図 10.23 河川水温予測結果(対象年平均·変動幅)

C) 年統計値の比較

- ・設定する予測計算期間によって、予測結果の比較の指標としてしばしば用いられる統計値
   にどのような影響が出るのかを比較するため、各ケースの統計値(年平均値、パーセンタイル値)を比較した。(図 10.24)
- ・年平均値や年75%値でみると、10年で評価した場合と30年で評価した場合では、値の幅 も含めてさほど差は見られない。
- 一方、COD99%値、T-P95%値・99%値では、計算期間の平均値ではさほどの差は見られないものの、最大値(エラーバーの上)では、10年と30年で差がみられ、30年の方が大きくなっている。
- ・将来予測では出水に伴う栄養塩(特にりん)の流入による濃度上昇やそれを利用した植物 プランクトン増殖による COD 濃度上昇といった現象が生じると予測されており、図 10.1 に示したように 10 年よりも 30 年を計算期間に設定した方が規模の大きな降雨をデータに 含むことを反映している。



図 10.24 各ケースの年統計値の比較(八郎湖,調整池 湖心-表層)

### 10.2.3 まとめ

年平均値や 75%値といった平常時の比較を行う場合には、設定する計算期間の長さの影響は比較的小さいが、大雨の影響等、短時間の極値的な現象を評価する場合には、計算期間 をなるべく長く設定した方が、極値による変化やその影響をより把握できるものと考えら れた。

また、気温上昇に関係する現象(水温上昇等)に比べると、降雨変化に関係する現象(豪 雨、負荷流入等)の方が、極値による湖水質の変化への影響が大きいと考えられた。

## 10.3 気候モデルデータのバイアス補正

### 10.3.1 MRI-NHRCM20

地球温暖化予測情報第8巻では、バイアス補正済みのデータが収録されている。このバイ アス補正の方法について、以下に示す。本検討におけるバイアス補正の方法は、この方法に より実施している。

#### 1) 気温の補正

気候モデルでは、ある月における日平均気温・日最高気温・日最低気温は、十分に長い期 間の統計をとると、観測と同様に正規分布に近い出現頻度分布となる傾向がある。この特性 を踏まえ、観測値と、地域気候モデルの対応する格子点における現在気候を比較して、日平 均気温を補正した。

なお、観測値と現在気候の比較から求めた補正係数を、将来気候についても同様に適用する。

- 現在気候に対応する期間における観測値の日平均気温を地点別・月別に高い方から順に並べ替える。
- ② 各観測点に対応するモデル格子点の現在気候再現値の日平均気温を、地点別・月別に 高いほうから順に並べ替える。
- ③ 観測値とモデル格子点の現在気候再現値を線形関係と仮定し、最小自乗法により補正 係数を求めて補正する。

観測値とモデル格子点の現在気候再現値を線形関係と仮定し、最小自乗法により補正係 数を求めて補正する

#### 2) 降水量の補正

気候モデルでは、観測値に比べて強い降水と無降水の頻度が少なく、弱い降水の頻度が相 対的に多く現れやすい傾向がある。このような特性を踏まえ、地球温暖化予測情報第8巻で は観測値と地域気候モデルの対応する格子点における現在気候を比較して、下記Aの手順 で降水量が補正されている。

本調査では、方法 A で求められた格子点から、下記 B の方法でその他の格子点に対して 補正値を求めた。さらに、現在気候の補正値とアメダス観測値との間に差異が認められたた め、下記 C の方法で、全地点に対して再補正を行った。

方法 A では時間単位での補正が行われているが、方法 C では月ごとに平均した補正係数 を用いている。このため、弱い降水の頻度変化に対応した補正が強い降水にも適用されるな ど、時別値・日別値単位の変動に影響が出ることが考えられる。より詳細な評価を行う際に は留意が必要である。

<A.観測所が存在する格子点のバイアス補正方法>

- ① 現在気候に対応する期間における観測値の 0.5mm 以上の 1 時間降水量を、地点別・ 月別に多い方から順に並べ替える。
- ② 各観測点に対応するモデル格子点の現在気候再現値の1時間降水量を地点別・月別に多い方から順に並べ替える。
- ③ ①と②の総サンプル数を少ない方に合わせる(総サンプル数の多い方を、少ない方の サンプル数と同じ数までで打ち切る)。
- ④ サンプル数を揃えた観測値とモデル格子点の現在気候再現値を線形関係と仮定し、
   最小自乗法により補正係数を求めて補正する。
- ⑤ 強い降水(95パーセンタイル値以上)に対しては、ガンマ分布を適用する。観測値、 モデル再現値とも、強い降水の出現頻度がガンマ分布の確率密度関数

$$f(x) = \frac{\exp(-\frac{x}{\theta})x^{(k-1)}}{\Gamma(k)\theta^k}$$

に従うと仮定する。ここで、x は降水量、k、θ はガンマ分布の形状とスケーリング を示す母数である。観測データ、モデル再現値からそれぞれガンマ分布の母数を推定 する。

- ⑥ モデル降水量から、⑤で推定したガンマ分布における累積頻度を求める。求めた累積 頻度が観測値から推定したガンマ分布において相当する降水量を求め、これを補正 値とする。
- ⑦ 将来気候の降水量に対しても、⑥の変換を適用して補正値を求める。



図 10.25 ガンマ分布を適用した降水量の補正

<B.その他の格子点のバイアス補正方法>

①Aで求めた将来気候の補正値と補正前値の差分を取り、補正係数とする。

②各格子点に対して、最近接の補正済格子点の補正係数を適用する。

<C.全格子点の再補正方法>

①A で求めた現在気候の補正値から、地点別の月降水量10年平均値を求める。

② 観測所の月降水量10年平均値を①で割った値を、地点別の月補正係数とする。

③ 各格子点に対して、最近接の観測所の補正係数を適用する。

10.3.2 MIROC5, GFDL

メッシュ解像度の粗い気候モデルでの降水量データのバイアス補正の手法について、検 討会委員にヒアリングを実施し、助言を得た。

委員からの助言を踏まえて、バイアス補正方法を検討し、降水量の時間別値の累積確率分 布を用いて、月ごとにバイアス補正を行った。

- 1. 現在予測値、現在観測値(アメダス)、補正前の将来予測値について、横軸を雨量、縦軸 を累積確率として雨量の累積確率分布図をプロットする。
- 2. プロットした点と点の間を直線で繋ぐ。
- 3. 将来予測値の各点に対して、将来予測値と同じ雨量の現在予測値の累積確率を探し(図 10.26 ①)、その場所から同じ累積確率の現在観測値の雨量を探し(図 10.26 ②)、将 来予測値と同じ累積確率の雨量を推定する(図 10.26 ③)。
- 4.3の手順により、現在予測値の降水量の値が小さい箇所は、現在観測値の値「0」に合わせて将来予測値が「0」に補正される。



図 10.26 バイアス補正方法の概念図
以下に、本手法を用いて降水量に対してバイス補正を行った結果を示す。本バイアス補正 により、降水量の極値が補正できていることを確認できた。





#### 10.3.3 d4PDF

d4PDF(5km)のデータセットについては、解像度による地形効果等を要因とするバイア スが含まれており、これを補正する必要がある。また、将来気候ではアンサンブルに与えた 海面水温の違いを考慮する必要があることから、バイアス補正がなされている。このバイア ス補正手順は、図 10.29に示すフローにより実施されている。

なお、本調査においては、バイアス補正済みのデータを入手したため、バイアス補正の処 理自体は行っていない。

#### 1.対象地点の抽出

以下の条件を満たす地点を抽出。

- ① 北海道や沖縄を除く、SI-CAT 5km-DSの計算領域に含まれ、気温または降水量を観測しているアメダス観測地点。
- 2 観測期間が、SI-CAT 5km-DS過去実験期間(1980年~2011年:現在気候)を網羅している。
- ③ 過去実験期間(1980年~2011年:現在気候)内に、観測地点の変更等による統計切断が生じていない。

2.気候予測モデル格子点と観測地点の対応方法 観測地点の格子点周辺の4点から距離の2条に逆比例して内挿する。なお、内挿は観測地点 位置から行う(観測地点が位置するメッシュの格子点も内挿により算出される)。

3.アンサンブルデータの分類

海面水温パターンを考慮し、以下の様に分類してバイアス補正を行う。

- ① 現在気候:12メンバは均一とみなし、30年×12メンバの360年分データとして扱う
- ② 将来気候:海面水温によって傾向が異なると判断し、30年×2メンバの60年データが6 セットとして扱う

#### 4.バイアス補正

- 4-1.観測値と現在気候について、以下の手法によるバイアス補正を行う。
  - 1年を73期間に分け、1期間5日間に前後10日を加えた合計25日の累積雨量、平均気 温を、観測値と現在気候で上位順に整理する
  - ② 観測値と現在気候の同じ順位の値が一致する補正(気温は差分、降水量は倍率)を 設定し、中心の1期間5日間に対して適応する
  - ③ 特異値による影響を抑えるため、上位順10%移動平均の補正を適用

4-2.現在気候と将来気候では上位順で同じ順位におけるバイアスは同じであると仮定し、現在 気候に対して設定した補正率を、将来気候にも適用する。

#### 図 10.29 バイアス補正のフロー

# 11. 用語集

【A-Z】

■ AÎB シナリオ

IPCC(用語集参照)第4次評価報告書で多く用いられた温室効果ガス排出シナリオの1つである。A1B(Balanced across all sources)はすべてのエネルギー源のバランスを重視しつつ高い経済成長を実現する社会に分類され、大気中の温室効果ガス濃度が21世紀末頃に20世紀末の約2倍に増加すると想定された、排出量が比較的多いシナリオである。

## ■ DIAS (データ統合・解析システム: Data Integration and Analysis System)

地球規模/各地域の観測によって得られたデータを収集、永続的な蓄積、統合、解 析するとともに、社会経済情報などと融合することで、環境問題や災害に対する危機 管理に有益な情報に変換して国内外に提供するシステムのことである。(URL: https://diasjp.net/)

# ■ ÎPCC (国連気候変動に関する政府間パネル: Intergovernmental Panel on Climate Change)

気候変動の状態と気候変動がもたらす様々な影響を評価することを目的に、1988 年に設立された。5~6年ごとに、気候変動に関する最新の知見を評価報告書にまと めており、現在は2013~2014年に第5次評価報告書が公表されている。

■ RCP (代表濃度経路シナリオ: Representative Concentration Pathways)

将来の気候を予測するために、今後どのように気候変動の要因が変化していくか を想定したシナリオのことをいい、IPCC 第5次評価報告書で用いられた。今後温暖 化対策を取った場合から、取らなかった場合まで4つのシナリオが用意されている。

水中に含まれる全ての窒素化合物のことをいい、有機態窒素と無機態窒素にわけ られる。さらに無機態窒素はアンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素にわけ られる。窒素は、生物にとって必要元素であり、水中ではこれを栄養素として植物プ ランクトンが増殖する。 ■ **TOC** (全有機炭素: Total Organic Carbon)

水中に含まれる有機物中の炭素量である。900~950 度で水中の有機物質を分解し て有機物中の炭素を二酸化炭素とし、その二酸化炭素濃度を測定することで炭素量 を求める。有機性汚濁の指標として用いられ、水道水質基準にもなっている。

## ■ T - P(全りん)

水中に含まれる全てのりん化合物のことをいい、有機態りんと無機態りんに分け られる。窒素とともに生物によって必要元素であり、水中ではこれを栄養素として植 物プランクトンが増殖する。

【あ行】

■ アオコ

富栄養化によって植物プランクトン(主として藍藻類)が異常に増殖し、水面を覆 うことで表面が緑色に見える現象である。アオコの発生は、湖沼の透明度の低下や景 観の悪化、魚類等水生生物の大量死や上水の浄水障害を引き起こすことがある。

#### ■ アンサンブル

気候モデルを用いた気象の将来予測では、計算初期値を少しずつずらした多くの ケース数の計算を行う。このような予測ケースのことをアンサンブルという。気候モ デルを用いた将来予測では、観測結果を用いてモデル初期値を設定するが、初期値の 誤差が予測結果に大きな差となることから、このような予測方法を行っている。

■ 栄養塩

無機塩類のうち、窒素やリンなど植物プランクトンの栄養となる物質である。 湖沼の水中内で窒素やリンなどの栄養塩が増加することで富栄養化が生じやすくなる。

【か行】

# ■ 気候 モデル

地球の気候の長期的な変化を、様々な物理法則を用いて再現・予測するための数理 モデルのことをいう。世界の各国、研究機関では様々な気候モデルが開発されている。

# ■ 汽水 湖

「汽水」とは、海水と淡水の中間の塩分を持つ水のことをいい、その水を湛えてい る湖沼を「汽水湖」という。海洋に近く、接続する河川・水路等を通じて湖沼に海水 が流入することで淡水と海水が混ざり合う状態となっている。

#### ■ クロロフィル a(Chl.a)

クロロフィルは光合成の明反応で光エネルギーを吸収する役割をもつ化学物質の ことである。葉緑素ともいう。クロロフィルには、a、b、c1、c2およびfがある。ク ロロフィル a はほとんどの植物に含まれているため、その濃度によって植物プラン クトンの量を示すことができることから、水質汚濁状況を測る指標の1 つとしてよ く使われている。植物プランクトンの量が多いと、栄養源である窒素やリンも増加し ていると考えられ、富栄養化が起こりやすくなっていることが分かる。

#### 【さ行】

# ■ 植物 プランクトン

プランクトンのうち、光合成によって独立栄養を営んでいるものをいう。光合成に より水中から二酸化炭素や栄養素を吸収するとともに、水中に酸素を供給している が、栄養塩が増加したり、水が滞留したりする等、植物プランクトンが増殖しやすい 状態になると大量に繁殖して水面を覆うなど、水質悪化を招くことがある。

# ■ 人造湖

生活用水、工業用水、農業用水等の確保ために人工的に作った湖沼のことで、ダム 湖などがこれにあたる。

## ■ 水温成層(水温躍層)

湖沼や海洋において、太陽により温められた表層水と冷たい深層水の間に存在す る水温が急激に変化する層のことをいう。水温成層があると、上層と底層の循環が起 こりにくくなるため、底層の貧酸素化が起こりやすくなる。

## ■ 水生 植物

湖沼や河川など淡水域に生育する植物の総称である。水生植物は湖沼やその周辺 に生息する生物の餌や生育場所を形成するという役割がある。また、水中や水際に生 育する水生植物は、水質変化にも影響を及ぼしている。

#### ■ 全循環

湖沼等の水深の大きい水域において、表層と底層の水が完全に混ざり合う(全水深 で水温やその他水質が一様になる)ことをいう。湖沼において夏に水面で受熱し、表 層水の水温が高くなって水温成層が形成された後、冬に表層の水温が低下すること で表層と底層の水温差がなくなり、表層と底層で循環が生じて混ざり合う。これによ り、底層水で貧酸素化が生じていれば表層水と混ざり合い底層に酸素が供給される。

■ 藻類

酸素等を作り出す光合成を行う生物のうち、陸上植物を除いたものの総称をいう。 このうち、水中に浮遊するものを植物プランクトンと言い、藍藻類や珪藻類等がある。

【た行】

■ ダウンスケーリング

解像度の低い(メッシュサイズが大きい)データを、一定の推計手法を用いて、解 像度の高いデータを作成することをいう。気候モデルのデータセットに対して行う ダウンスケーリングには、物理法則に基づいた手法である力学的ダウンスケーリン グと統計的・経験的な関係を用いた手法である統計学的ダウンスケーリングがある。

# ■ **淡水**赤潮

富栄養化の進行に伴って、渦鞭毛藻類等の植物プランクトンが異常増殖し、水の色 が赤みを帯びる現象のことをいう。赤潮は海水域で発生することが多い現象である が、淡水域でも発生する場合もある。

## ■ 淡水湖

塩分濃度の極めて低い淡水、あるいは真水によってできている湖沼のことである。

# ■ 低次生態系モデル

湖沼等、水域での水質を解析するためのモデルの一つである。水質変化は河川等か ら入ってくる窒素やりん等の物質の他に、水域内の生物によっても変化する。植物プ ランクトンや動物プランクトン、魚類等がある。このうち、植物プランクトン、動物 プランクトンまでを考慮しているモデルである。なお、高次生態系モデルとは、低次 生態系モデルに加えて、魚類など水域の生態系ピラミッドにおいてより高位に位置 する生物を考慮したモデルである。

# ■ 底層 利用 種

湖沼に生息する生物のうち、主に底層に生息している魚類等の生物のことをいう。 通常底層では表層より水温が低い。このため、冷水性の生物や、湖底泥をすみかとす る生物、底泥に生息する生物を餌にしている生物を指す。

## ■ 透明度

湖や海の水の透明さを表す値で、直径 25~30cm の白色円板を水面から降ろしてい き、それが識別できる限界の深さをメートルで表示した水質指標の1つである。透明 度が低ければ、水中に届く光の量が少なく、水中の植物の光合成が妨げられる。

【な行】

■ 内部 生産

湖沼等の水域の中において植物プランクトンの光合成によって有機物(炭素)が生産されることをいう。内部生産に対して、湖沼の流域から流入してくる負荷を外部負荷という。

【は行】

# ■ バイアス・バイアス 補正

バイアスとは、思い込み、偏り、また誤りの意味であるが、気候モデルにおけるバ イアスとは、気象予測データの誤差を言う。気候モデルでは気温や降水量等の気象を シミュレーションするが、実際の現象と差がある。バイアス補正とは、その差を実際 の現象と合わせるように様々な手法を用いて補正することである。

# ■ 曝気

水の中に直接空気を吹き込むことで、空気(泡)の移動・浮上により水の流れを生 じさせ、水に溶けている酸素(溶存酸素)の量の増加を図ることをいい、水質の改善 のために行われる。湖沼では、富栄養化対策、貧酸素対策等、水を浄化する手段の1 つとして行われている。

## ■ 貧酸素化

湖沼等において、生物が生存できないくらいに水中の溶存酸素濃度が低下するこ とをいう。底層では、死滅したプランクトンをバクテリアが分解するため酸素が消費 され、さらに全循環が起きず表層から酸素が供給されにくいために、底層水が貧酸素 化する場合がある。また、貧酸素化すると還元状態となるため、底泥中から窒素やリ ン等の栄養塩や鉄やマンガン等の金属類が溶出しやすくなる。

# ■ 貧酸素耐性

水中に生息する生物が、水中の溶存酸素濃度が低い場合にどの程度生存できるか を表す指標である。例えば、12h-LC5 とは、「12 時間の暴露時間における 95%の個 体が生存可能な溶存酸素量」をいう。

## ■ 富栄養化

窒素・リンなどの栄養塩類は湖沼や海域等水域の生物にとって必須な元素である が、湖沼や海域へ汚濁負荷物質の流入が高まり、水中の窒素、リンが必要以上に増え ると、それを栄養として利用する植物プランクトンが急速に増える。このような状態 を富栄養化という。

#### ■ 不確実性

ある問題の事象が起こる可能性があるとわかっていても、その事象の起こり方に 様々な可能性があり、どの程度の確率で起こるかわからない場合、不確実性があると いう。将来の気候変動についても、起こる可能性が分かっているが、どのように起こ るのか、どの程度の確率で起こるのかは分かっていない。 ■ 浮遊物質 (SS : Suspended Solids)

水中を浮遊している粒度が小さい土砂やゴミ、塵埃等を指す。浮遊物質の量が多い と透明度が低下しやすくなる。降雨の際に表面流出等によって急激に大きくなる。

【や行】

■ 溶出

湖沼では底泥に含まれる窒素やリン等の物質が湖水中に溶け出すことをいう。栄 養塩等が溶出し水中に供給されることで植物プランクトンの増殖に寄与し、水質悪 化につながるといった影響がある。

【ら行】

■ 流入 負荷量

河川等を通じて湖沼に流入する、陸域(流域)で排出された有機物や窒素、リン等の物質のことをいう。湖沼の水質を悪化させている要因には、主に、陸域からの流入 負荷量と、湖沼内での底泥溶出や植物プランクトンによる有機物の生産(内部生産) の、2つがある。水質改善にはこれら要因に対する対策が必要である。



