

# 気候変動による湖沼の水環境への 影響評価・適応策検討に係る手引き

## 【資料編】

令和3年3月

環境省 水・大気環境局 水環境課



資料編  
目次

1. 簡易的手法を用いた気候変動による影響評価・適応策の検討例 . . . . . 1-1
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 . . 2-1
3. 湖沼における水環境の変化への対応事例 . . . . . 3-1
4. 用語集 . . . . . 4-1



## 【資料編 1】

# 簡易的手法を用いた 気候変動による影響評価・適応策の検討例



## 目次

1. 簡易的手法を用いた気候変動による影響評価・適応策の検討例.....	1-1
1.1 大沼（北海道）.....	1-3
1.1.1 情報・データ等の収集.....	1-3
1.1.2 気候変動影響の整理.....	1-13
1.1.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-14
1.2 十和田湖（青森県・秋田県）.....	1-24
1.2.1 情報・データ等の収集.....	1-24
1.2.2 気候変動影響の整理.....	1-34
1.2.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-36
1.3 伊豆沼（宮城県）.....	1-43
1.3.1 湖沼・流域の特徴等の収集.....	1-43
1.3.2 気候変動影響の整理.....	1-53
1.3.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-54
1.4 芦ノ湖（神奈川県）.....	1-60
1.4.1 情報・データ等の収集.....	1-60
1.4.2 気候変動影響の整理.....	1-67
1.4.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-69
1.5 諏訪湖（長野県）.....	1-74
1.5.1 情報・データ等の収集.....	1-74
1.5.2 気候変動影響の整理.....	1-82
1.5.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-84
1.6 河口湖（山梨県）.....	1-96
1.6.1 情報・データ等の収集.....	1-96
1.6.2 気候変動影響の整理.....	1-105
1.6.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-107
1.7 宍道湖（島根県）.....	1-122
1.7.1 情報・データ等の収集.....	1-122
1.7.2 気候変動影響の整理.....	1-130
1.7.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-131
1.8 八郎湖（秋田県）.....	1-137
1.8.1 情報・データ等の収集.....	1-137
1.8.2 気候変動影響の整理.....	1-147
1.8.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-148
1.9 琵琶湖（滋賀県）.....	1-159
1.9.1 情報・データ等の収集.....	1-159
1.9.2 気候変動影響の整理.....	1-168
1.9.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-171
1.10 池田湖（鹿児島県）.....	1-183
1.10.1 情報・データ等の収集.....	1-183
1.10.2 気候変動影響の整理.....	1-192
1.10.3 影響評価の実施、適応策の検討.....	1-194



# 1. 簡易的手法を用いた気候変動による影響評価・適応策の検討例

本手引きに示している簡易的な影響評価・適応策の検討手法を用いて、表 1.1 と図 1.1 に示す 10 湖沼において、気候変動による影響評価、適応策の検討例を以降に示す。

なお、本資料にて示す内容は、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。(具体的な影響評価・適応策の検討において、各自治体での精査が必要である。)

表 1.1 簡易的手法を用いた気候変動影響・適応策検討を行った湖沼

No.	都道府県	湖沼	全循環不全有無	富栄養化影響有無	湖面結氷有無	観光資源	利水取水	主な漁業種	検討対象の選定			
									冬期全循環不全 底層水の貧酸素化 底層利用種への影響	水温上昇 冷水性魚類への影響	植物プランクトン 増殖利水への影響	湖面結氷短期化 湖面利用への影響
1	北海道	大沼		○	○	○	○	ワカサギ		○	○	○
2	青森県 秋田県	十和田湖	○			○	○	ヒメマス、 ワカサギ	○	○		
3	宮城県	伊豆沼		○		○		フナ、コイ			○	
4	神奈川県	芦ノ湖	○			○	○	ニジマス、 ワカサギ	○	○		
5	山梨県	河口湖	○	○	○	○	○	ニジマス、 ワカサギ	○	○	○	○
6	長野県	諏訪湖		○	○	○		ワカサギ		○	○	○
7	島根県	宍道湖		○		○		ヤマトシジミ、 ウナギ、 シラウオ			○	
8	秋田県	八郎湖		○	○	○	○	ワカサギ		○	○	○
9	滋賀県	琵琶湖	○	○		○	○	アユ、 ピワマス	○		○	
10	鹿児島県	池田湖	○	○		○	○	-	○		○	

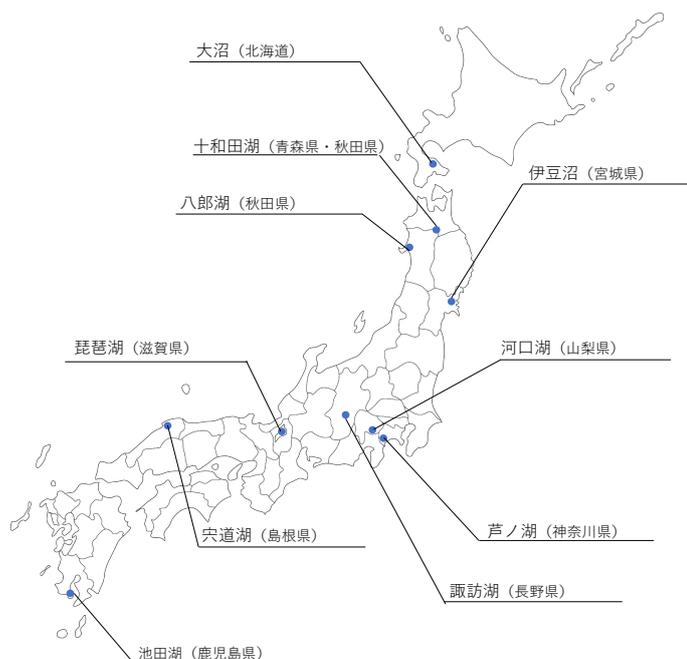


図 1.1 簡易的手法を用いた気候変動影響・適応策検討を行った湖沼

試行を行う湖沼について、気象変動影響の検討、適応策の検討は、図 1.2 のフローにより実施した。

各湖沼での諸データや資料の収集にあたっては、自治体ヒアリングでの意見や受領したデータから、また公開されている情報、データから収集整理した。

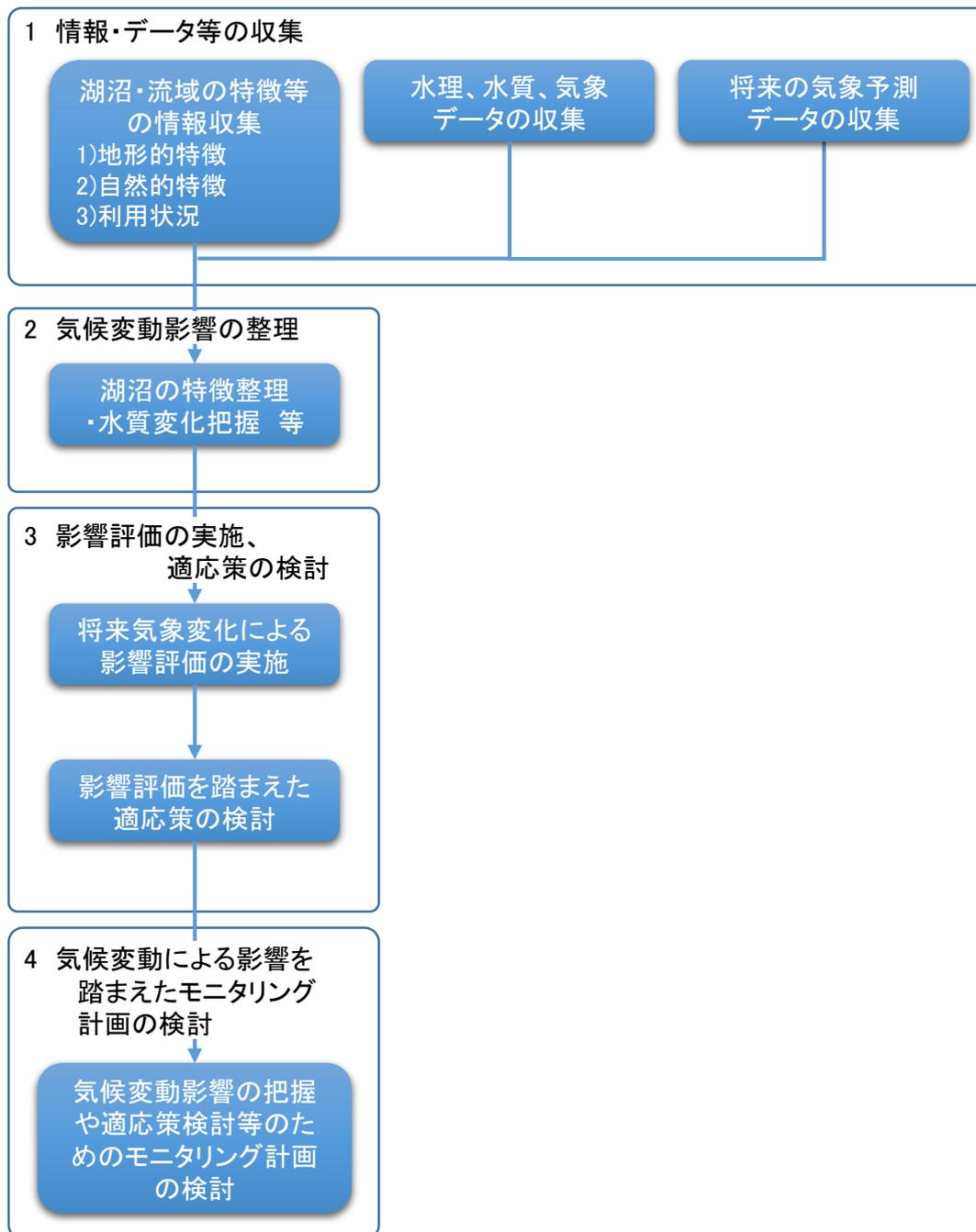


図 1.2 気候変動による影響評価と適応策検討のフロー

## 1.1 大沼(北海道)

### 1.1.1 情報・データ等の収集

#### (1) 湖沼・流域の特徴等の収集

大沼(小沼を含む、以下同じ)は、函館市から北へ約 20 km、七飯町北部の駒ヶ岳南麓に位置し、大沼国立公園の中心として、四季を通じて探勝、船遊び、散策等で賑わっている、豊かな自然環境に恵まれた本道を代表する貴重な観光地である。また、ワカサギ、貝類、フナ、エビ等の魚類が生息していて内水面漁業協同組合も存在し、平成 24 年 7 月にはラムサール条約湿地に登録され、特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地であることが広く認められている。(大沼環境保全計画：H29.6、大沼環境保全対策協議会)

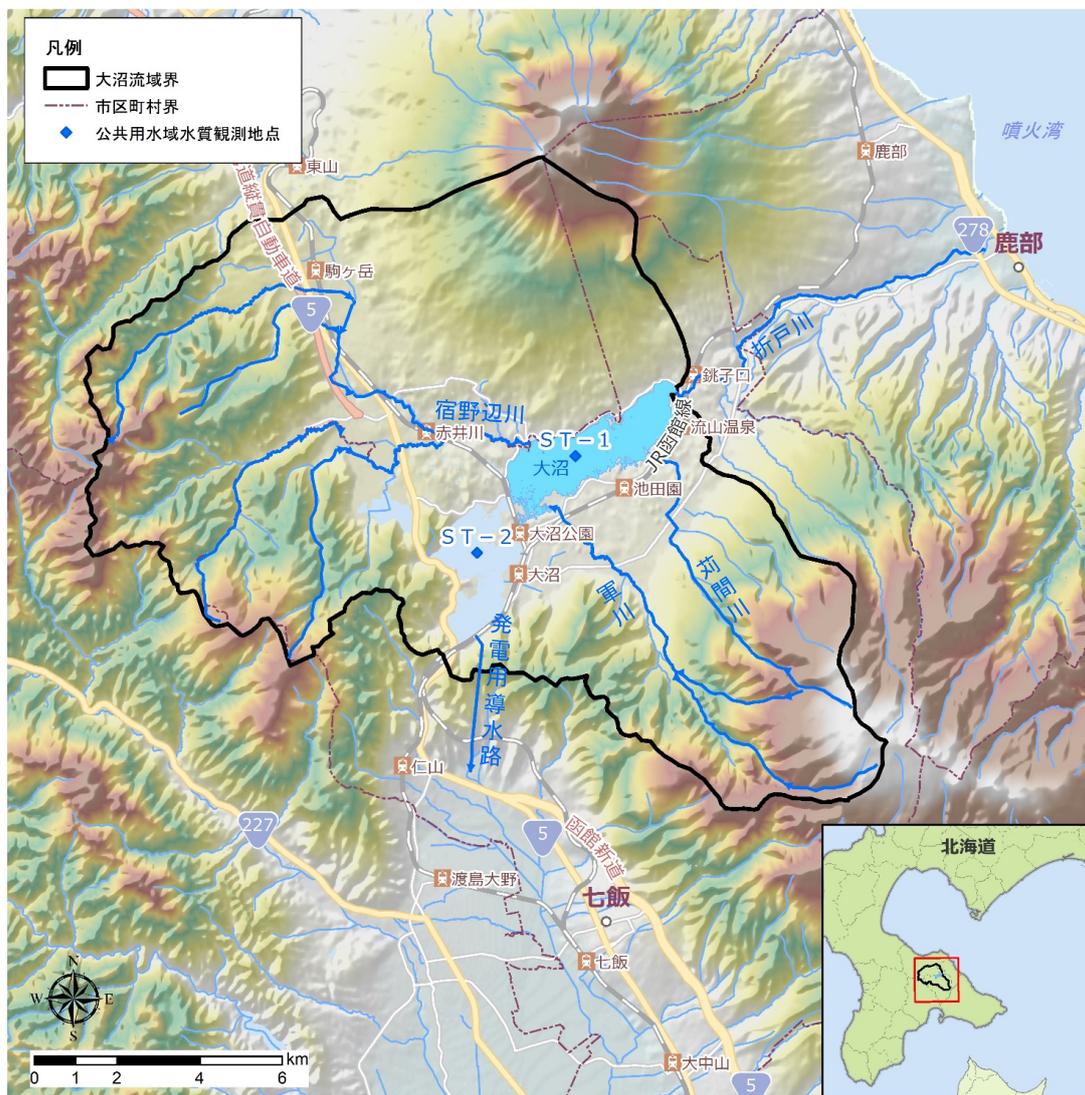
次ページに、湖沼・流域の地形、諸元等を示す。

また、資料・データの収集により、大沼について主な特徴を以下に整理した。

#### 1) 地形的特徴

- ・ 最大水深は 12.2m であり、湖面積に対して流域面積は広くおよそ 37 倍であり、宿野辺川、軍川、荻間川が流入河川である。
- ・ 流域に山地・山岳を抱え、春には融雪出水が生じている。
- ・ 流出河川(折戸川)は沼東部にあり、水門操作によって、出水時等に噴火湾へ流出する。
- ・ 利水として、発電およびかんがい用水として、大沼の西側の小沼に取水口がある。人為により沼の水位管理がなされている。
- ・ 水質環境基準は「湖沼 A」であり、利用目的の適応性として、上水の取水や水浴利用はないことから、「水産 2 級(貧栄養湖型水域)」が該当する。

## 北海道 大沼



### 【諸元】

標高	129m
湖面積	5.31km <sup>2</sup>
最大水深	12.2m
湖容積	0.43億m <sup>3</sup>
流域面積	196.5km <sup>2</sup>
流域人口 (七飯町R1)	28,148人
下水道普及率 (七飯町H29)	3.48%

〈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	令和元年度水質状況 (単位: mg/L)	
			ST-1	ST-2
COD	湖沼・A	3mg/L以下	3.5	4.1
T-N	湖沼・Ⅲ	0.4mg/L以下	0.53	0.55
T-P	湖沼・Ⅲ	0.03mg/L以下	0.012	0.017

備考: 基準値の評価方法

COD: 各基準点における全層平均の年間75%値。

T-N、T-P: 各基準点における表層の年間平均値。

〈データ出典〉

- ・令和元年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果(北海道)
- ・七飯町 ホームページ(七飯町の人口、下水道普及率)

## 2) 自然的特徴

- ・ 大沼には外来生物であるウシガエル、ヒキガエル、ミシシッピアカミミガメなどが侵入している。
- ・ 以前、ヒシを駆除するために大沼にソウギョを入れたという話を聞いたことがあるが、今もソウギョがいるかは不明である。
- ・ 地元大学が調査した結果、ウシガエルのお腹の中からワカサギは確認されなかった。外来生物による在来種の食害影響は無いかと思われる。
- ・ 北海道の湖沼の中でも温帯的な気候であり、冬でも越冬しやすく、外来種が定着しやすい環境にある。
- ・ 大沼には白鳥が来る。セバット（場所名）で餌やりをしていて、白鳥などがこの一箇所に集まってきていたが、鳥インフルエンザの影響で、1か所に集まらないように今は餌やりをやめている。

## 3) 利用状況

### A) 利水

- ・ 利水には、北海道電力の発電用水と農業用水の利用がある。
- ・ 大沼の西側にあり、水路でつながっている小沼に発電用水の取水口があり、北海道電力が水位管理している。発電後の放流水は、久根別川に入り、大野平野で農業用水として利用されている。

### B) 漁業

- ・ 大沼には内水面漁業があり、ワカサギが主要魚種である。ヌマエビなども採取している。大沼のとなりの葦菜（ジュンサイ）湖ではジュンサイを採取している。
- ・ 大沼漁業協同組合では、洞爺湖からワカサギの卵を購入して、大沼に卵を放流している。

### C) 観光資源

- ・ 明治時代から、公園として位置づけられており、公園として整備が進められてきた。今は国定公園の指定を受けている。
- ・ ラムサール条約湿地として登録されており、地域の主要な観光地である。秋の紅葉シーズンには観光客も多く、冬には雪と氷の祭典も開催されている。
- ・ 大沼は冬季、結氷する。地元では大沼の結氷を利用した氷祭りがある（大沼函館 雪と氷の祭典）。大沼の氷を切り出して、滑り台などを作っている。かつて、大沼の氷を採取して販売していたこともある。

(2) 水理・水質、気象データの収集

1) 経年変化

気象について、長期的な変化を図 1.1-1 に整理した。2010 年代は、1980 年代と比較すると、年降水量に増加傾向が見られる。なお、近年の降雪量は、少ない傾向が見られる。

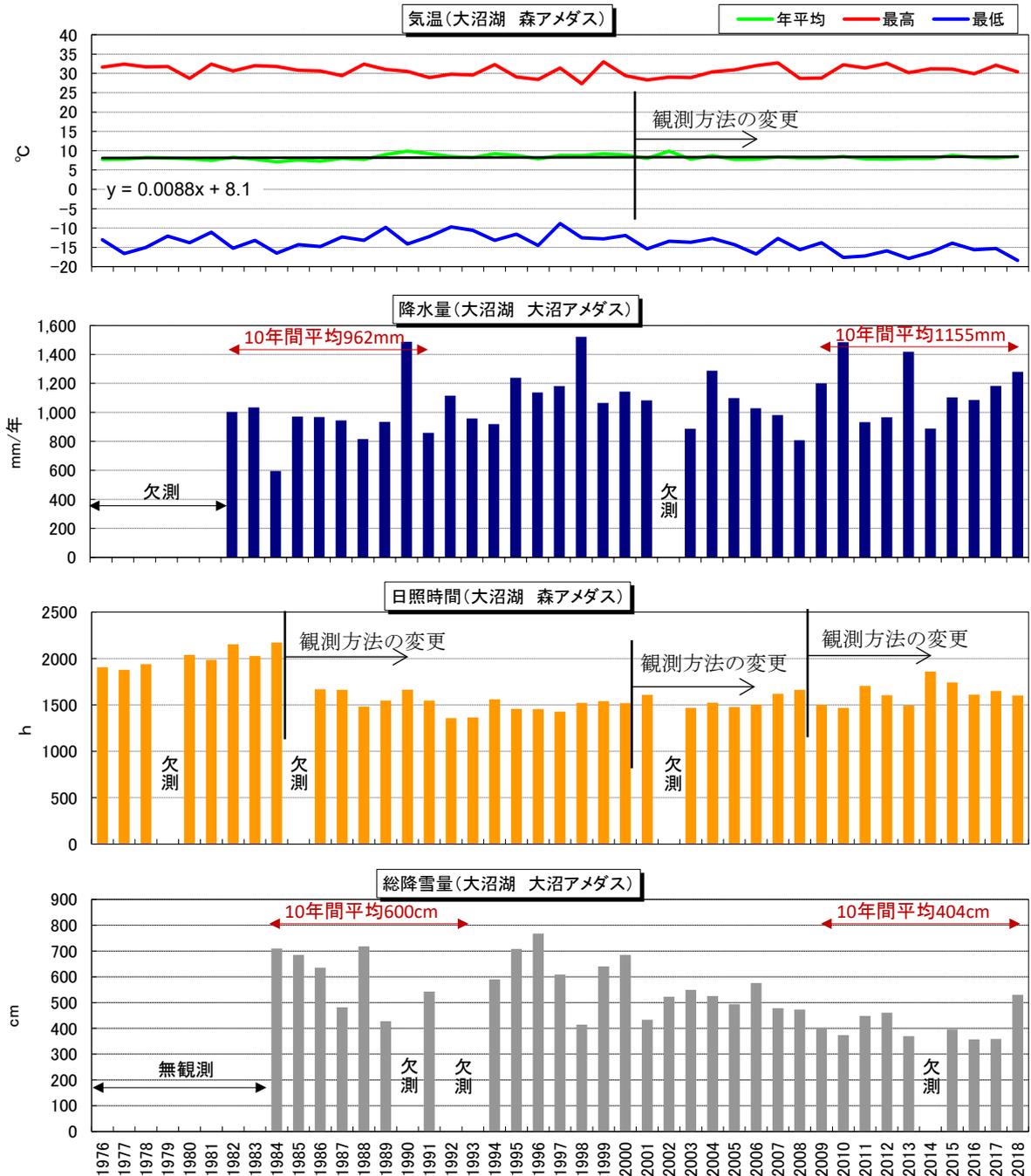


図 1.1-1 気象の経年変化(気象庁アメダス:近傍の大沼、森で整理)

## 2) 気温(真夏日・真冬日)

夏季の植物プランクトン増殖や、冬季の湖面結氷に影響すると考えられる、真夏日・真冬日の発生日数について図 1.1-2 に整理した。真夏日、真冬日の日数において、顕著な変化は見られていない。

※真夏日：最高気温が30℃以上の日      真冬日：最高気温が0℃未満の日

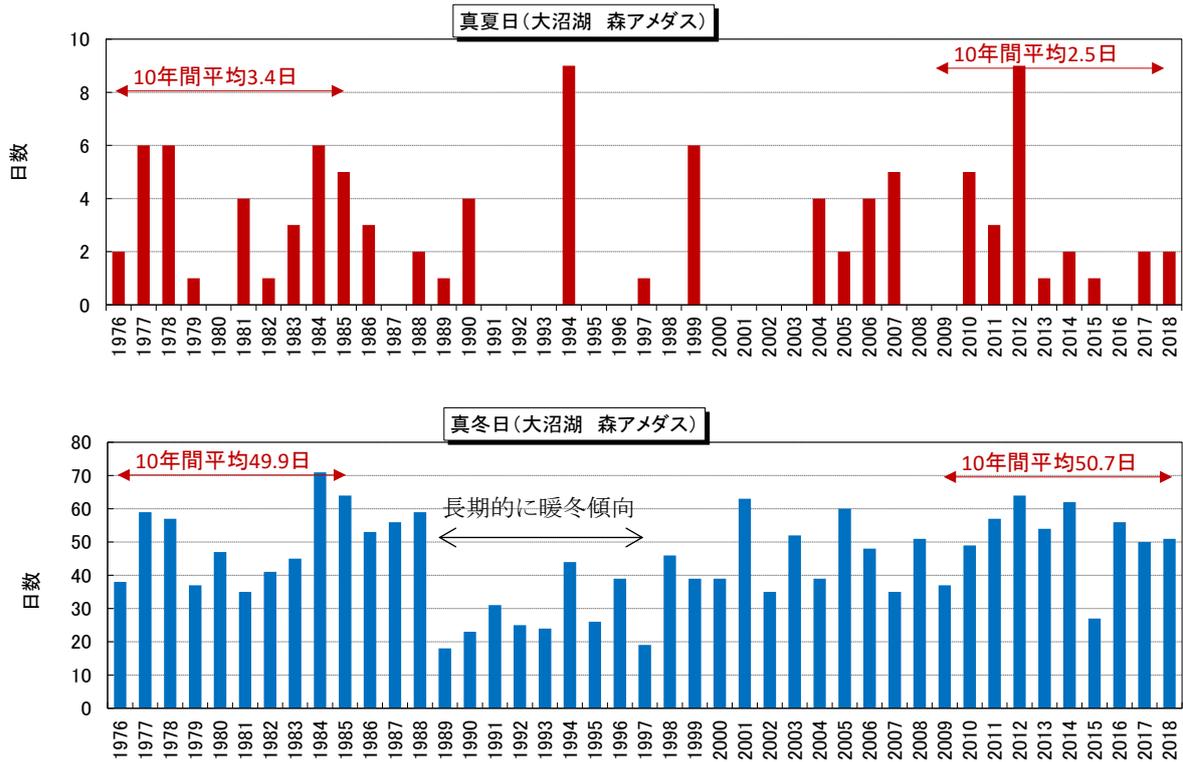


図 1.1-2 真夏日、真冬日の経年変化(気象庁アメダス:森)

### 3) 気温(夏季平均気温)

大沼に生息する冷水性魚類への影響が考えられる夏季気温の経年変化を図 1.1-3 に整理した。7、8 月平均気温について単純に直線回帰式をあてはめると、両月ともにやや上昇している傾向が見られた。

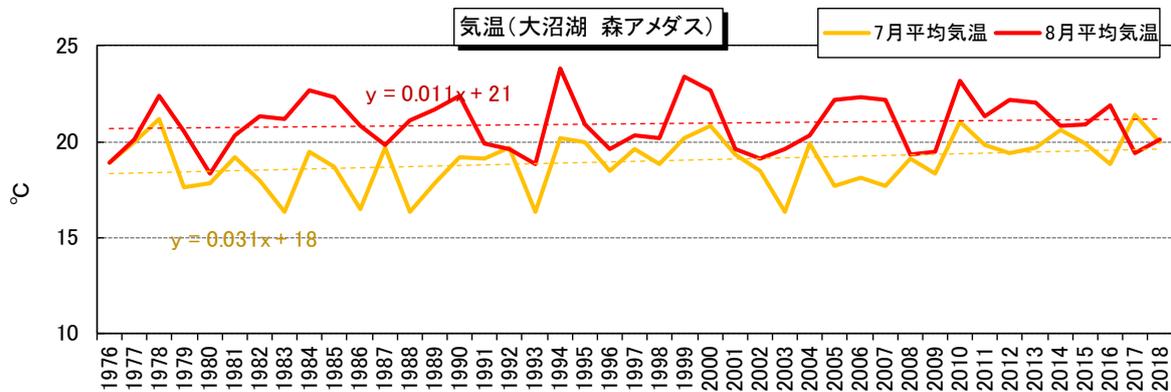


図 1.1-3 夏季平均気温の経年変化(気象庁アメダス:森)

### 4) 降水量(100mm/日超える日数)

日降水量が 100mm を超える日数について図 1.1-4 に整理した。この地域での発生は少なく、最近での明らかな変化傾向は見られない。

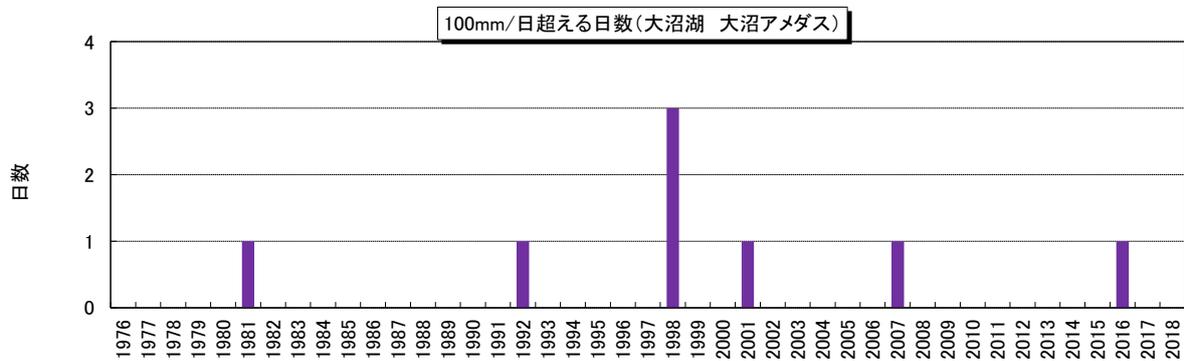


図 1.1-4 降水量が 100mm/日超える日数の経年変化(気象庁アメダス:大沼)

### (3) 将来の気象予測データの収集

大沼における将来の気象がどのように変化するのかについて具体的に把握するために、公表資料である、気象庁札幌管区气象台が作成した、「北海道地方 地球温暖化予測情報～IPCC の RCP8.5 シナリオを用いた北海道と地域別の将来予測～」（渡島地方）を参考に整理した。

この資料では、「地球温暖化予測情報 第9巻：RCP8.5」の計算結果に基づき整理されている。この資料から、大沼の気候変動影響に関連するとして、大沼が位置する渡島地方における気温、降水量の情報を抽出した。

## 1) 気温

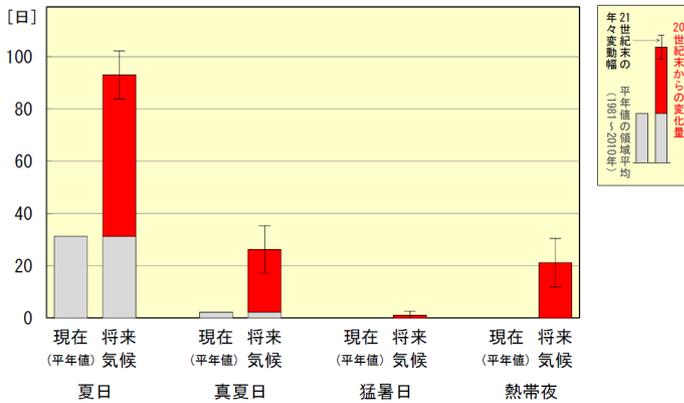
将来気候（21世紀末）では夏（6-8月）に平均気温が4.6度の上昇、真夏日も平均的に24日増加する。また、冬（12-2月）に平均気温が5.0度の上昇、真冬日も現在より34日減少する。

表 1.1-1 渡島地方の平均・最高・最低気温の変化（単位：℃）

将来気候における4メンバー平均の変化量と年々変動の幅を「変化量±標準偏差」で示し、その変化量が信頼度水準90%で有意に増加する場合は赤字としている。

要素	年	春 (3-5月)	夏 (6-8月)	秋 (9-11月)	冬 (12-2月)
平均気温		4.7 ± 0.7	4.6 ± 0.7	4.9 ± 0.8	5.0 ± 1.1
最高気温		4.5 ± 0.7	4.4 ± 0.7	4.8 ± 0.8	4.8 ± 1.1
最低気温		4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.8	5.0 ± 0.8	5.3 ± 1.1

夏日・真夏日等の日数の変化



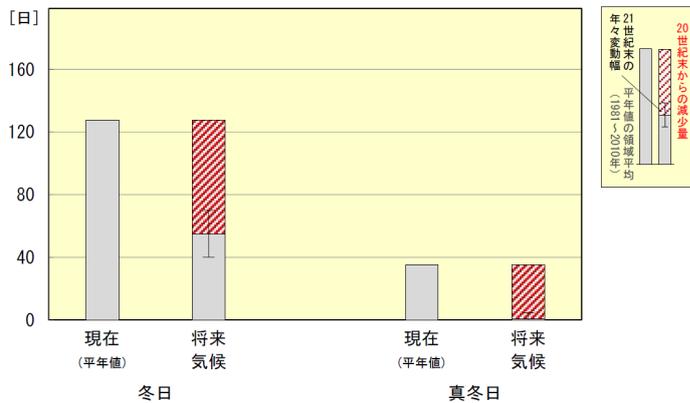
要素	変化量・標準偏差
夏日	61.7 ± 9.1
真夏日	24.0 ± 9.1
猛暑日	1.1 ± 1.5
熱帯夜	21.2 ± 9.3

図 1.1-5 渡島地方の夏日・真夏日等の年間日数の変化及び付表（単位：日） [バイアス補正済み]

赤色の棒グラフは現在気候に対する将来気候の増加量（4メンバーの平均）を、灰色の棒グラフは渡島地方の現在（平年値）を、細い縦線は将来気候の年々変動の幅（標準偏差）を示している。付表は将来気候における変化量と年々変動の幅を「変化量±標準偏差」で示し、その変化量が信頼度水準90%で有意に増加する場合は赤字としている。

※地域によっては地域内の変化量が大きく異なる場合がありますが、ここでは地域全体の平均的な増加量であることに注意してください。

冬日・真冬日日数の変化



要素	変化量・標準偏差
冬日	-72.6 ± 14.9
真冬日	-34.4 ± 3.7

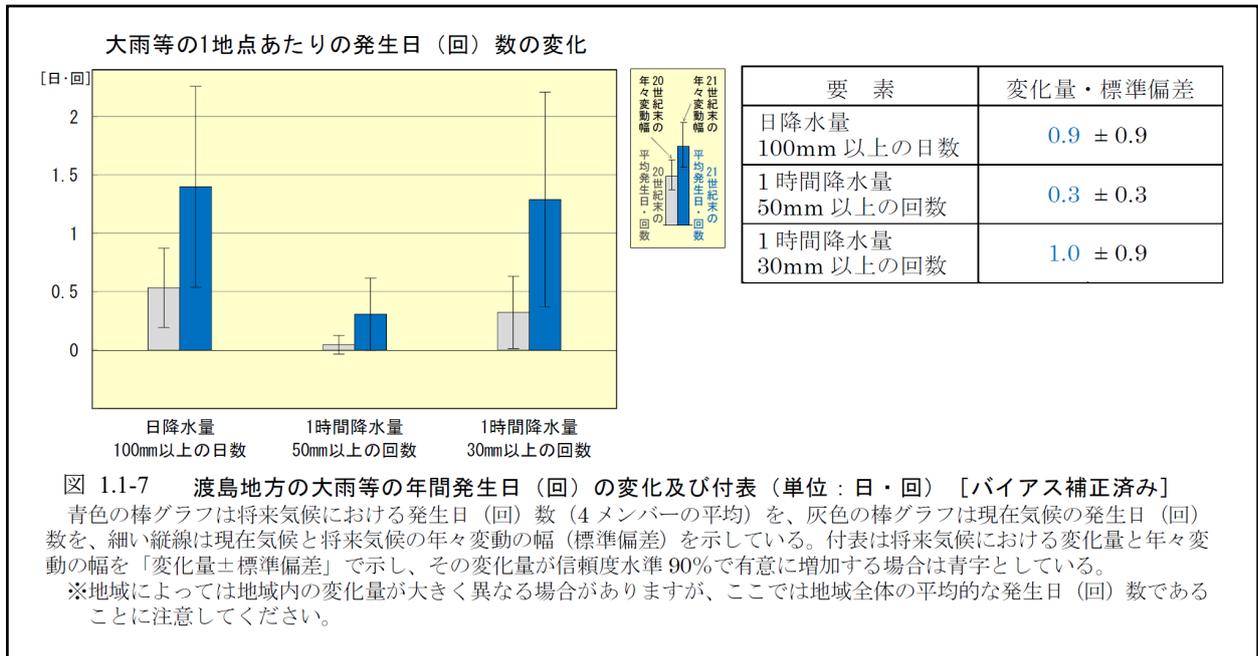
図 1.1-6 渡島地方の冬日・真冬日の年間日数の変化及び付表（単位：日） [バイアス補正済み]

赤色（斜線）の棒グラフは現在気候に対する将来気候の減少量（4メンバーの平均）を、灰色の棒グラフは渡島地方の現在（平年値）を、細い縦線は将来気候の年々変動の幅（標準偏差）を示している。付表は将来気候における変化量と年々変動の幅を「変化量±標準偏差」で示し、その変化量が信頼度水準90%で有意に減少する場合は赤字としている。

※地域によっては地域内の変化量が大きく異なる場合がありますが、ここでは地域全体の平均的な減少量であることに注意してください。

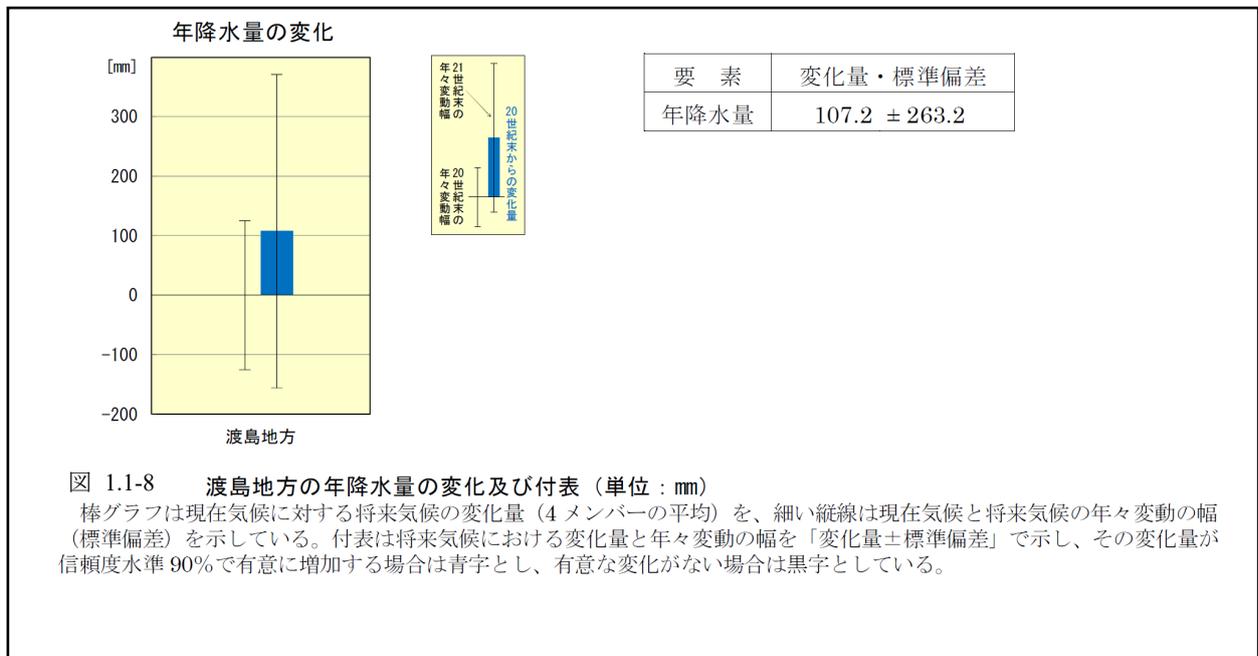
## 2) 降水量

日降水量 100mm 以上の発生確率が現在の約 2 倍に増加すると整理されている。



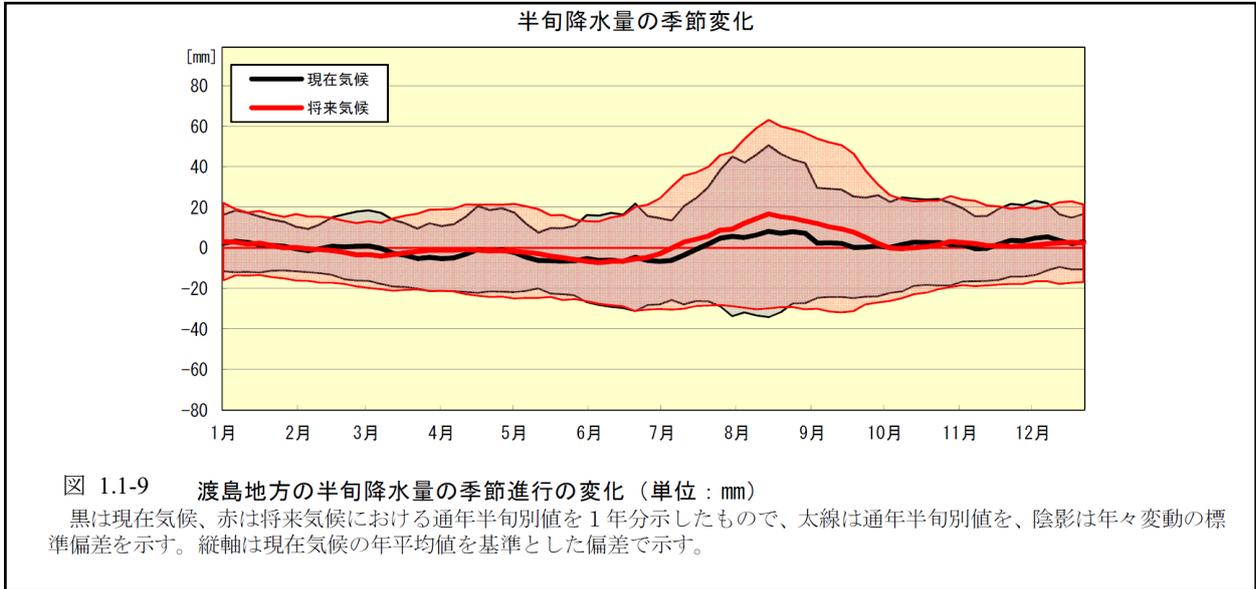
## 3) 年降水量

渡島地方では、年降水量に増加傾向が現れているものの、年々の変動の幅が大きいことから、有意な変化とはなっていない。



#### 4) 半旬降水量

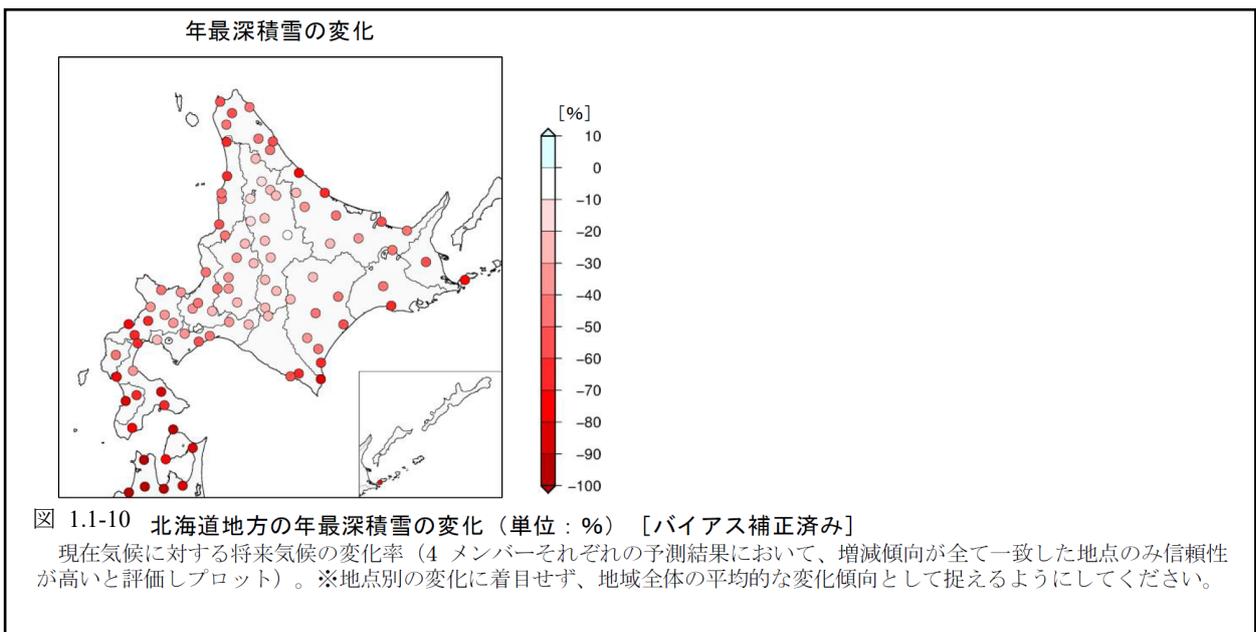
季節変化においても、将来気候の降水量の変化は現在気候の年々変動の範囲に収まっている等、大きな変化はないが、9月頃の年々変動に若干の増加傾向が見られる。



#### 5) 年最深積雪深

年最深積雪は、各地域で有意に減少する。北海道地方の年最深積雪は約 44%の減少となっており、地域別では太平洋側の比率がやや大きく約 50%の減少となっている。

分布図では内陸部を中心に減少率が小さくなっている。これは、沿岸部と比べてより寒冷的な内陸部では、地球温暖化がある程度進行した場合でも沿岸部と比べて降雪が積雪として持続しやすいこと等が要因であると考えられる。



## 1.1.2 気候変動影響の整理

### (1) 長期的な大沼の水質変化

大沼における代表的な水質地点 (ST-1) における 1984 年からの水質について、富栄養化・植物プランクトンの増殖に関連する、水温、COD および T-N、T-P を図 1.1-11 に整理した。

(2007 年度前後で調査頻度に変更となっていることに留意)

大沼において、COD について見ると、1980 年代は変動幅が大きくなり、1990 年代以降になると、COD のピークが大きくなっている。なお、近年において、T-N、T-P は 1980 年代と比較すると、平均的に濃度が高くなっている傾向が見られる。

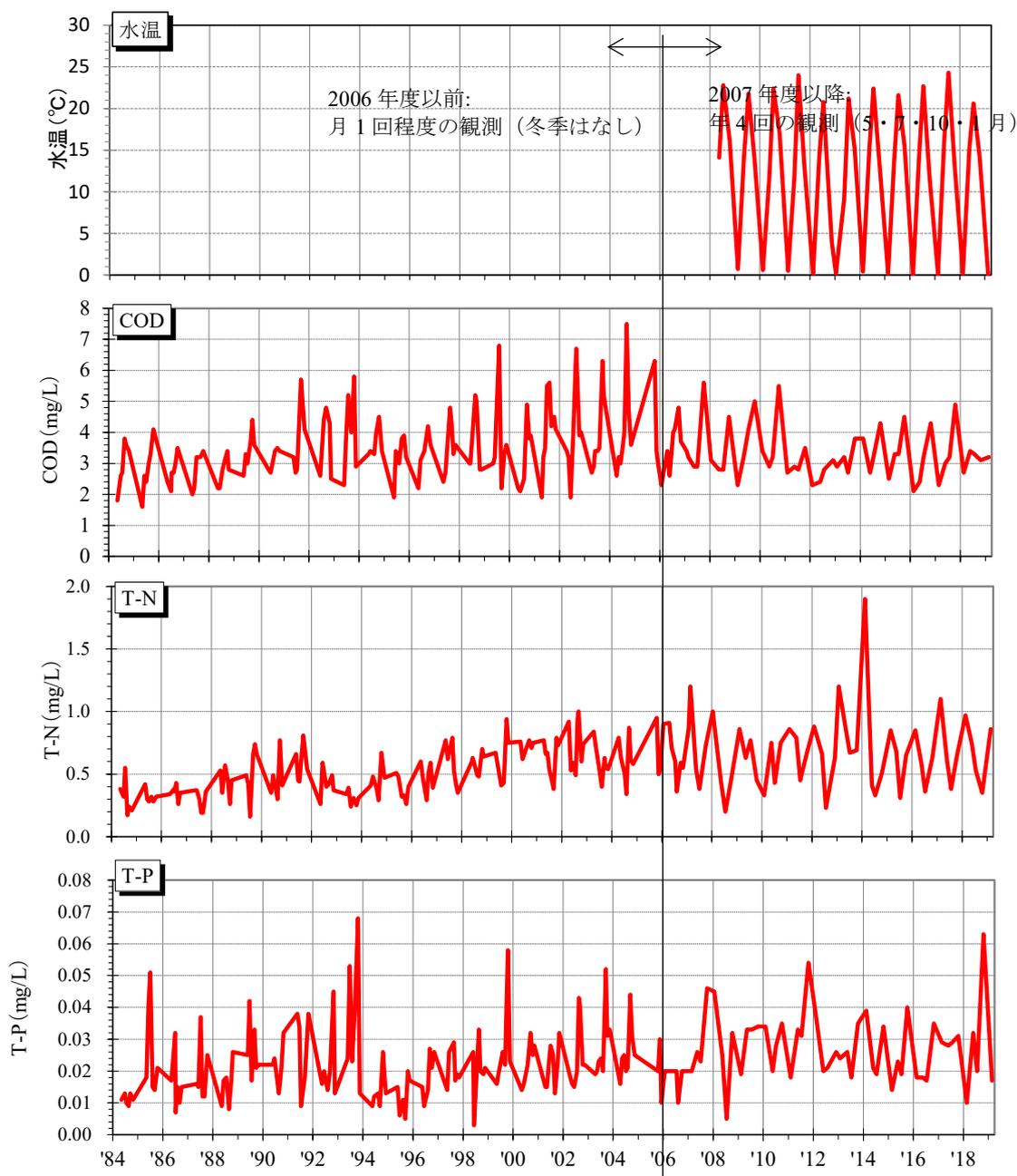


図 1.1-11 大沼における水質の経年変化 (ST-1) ※冬季は結氷のため観測無し  
※データ出典: 環境省 公共用水域水質測定結果

### 1.1.3 影響評価の実施、適応策の検討

以上の特徴等の整理結果を踏まえて、大沼での気候変動による影響が生じる可能性がある事象を想定すると、表 1.1-2 の事象が挙げられた。それらのうち、手引きで示されている簡易的な手法を用いて、水温上昇による冷水性魚類への影響、植物プランクトン増殖、湖面結氷短期化について、検討を行った。

表 1.1-2 検討対象とする気候変動影響の選定(大沼)

水環境の変化	水環境の変化 (影響を評価するための指標)		生活や地域社会への影響	情報・データ整理の結果を記入	
				湖沼の特徴	検討必要有無
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	底層利用種の漁獲量	水温成層は形成されない	-
	②	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	(同上)	-
水温の上昇	③	冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	冷水性魚類の漁獲量、遊漁人口	ワカサギを漁獲	○
	④	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド、水生植物	発電・かんがい用水の取水 観光地である ジュンサイの採取	○
	⑤	魚類等の生息水深の変化	漁法、漁獲量	水温成層は形成されない	-
	⑥	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	発電・かんがい用水の取水 ジュンサイの採取 観光地である	○
湖面結氷の変化	⑦	湖面結氷の短期化	景観、湖面結氷や氷を利用したイベント等（地域資源）	氷を利用したイベント	○
融雪時期の流入量・栄養塩供給時期の変化	⑧	植物プランクトン発生時期、量の変化	漁獲量	融雪出水がある ワカサギを漁獲	○
	⑨	春先の栄養塩供給量の減少	漁獲量、漁業適期、利水（浄水処理）、景観、臭気	融雪出水がある ワカサギを漁獲 観光地である	○
	⑩	春先の融雪水量の減少	(⑩と同じ)、利水（かんがい等）	(同上)	○
降雨強度の変化による出水時流入栄養塩量の増加	⑪	浮遊物質量の増加、透明度の変化	利水（浄水処理）、景観	ワカサギを漁獲	○
	⑫	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁獲量	発電・かんがい用水の取水 ワカサギを漁獲 ジュンサイの採取 観光地である	○
降水量の減少による平常時流量の減少		(⑫と同じ)	(⑫と同じ)	(同上)	○

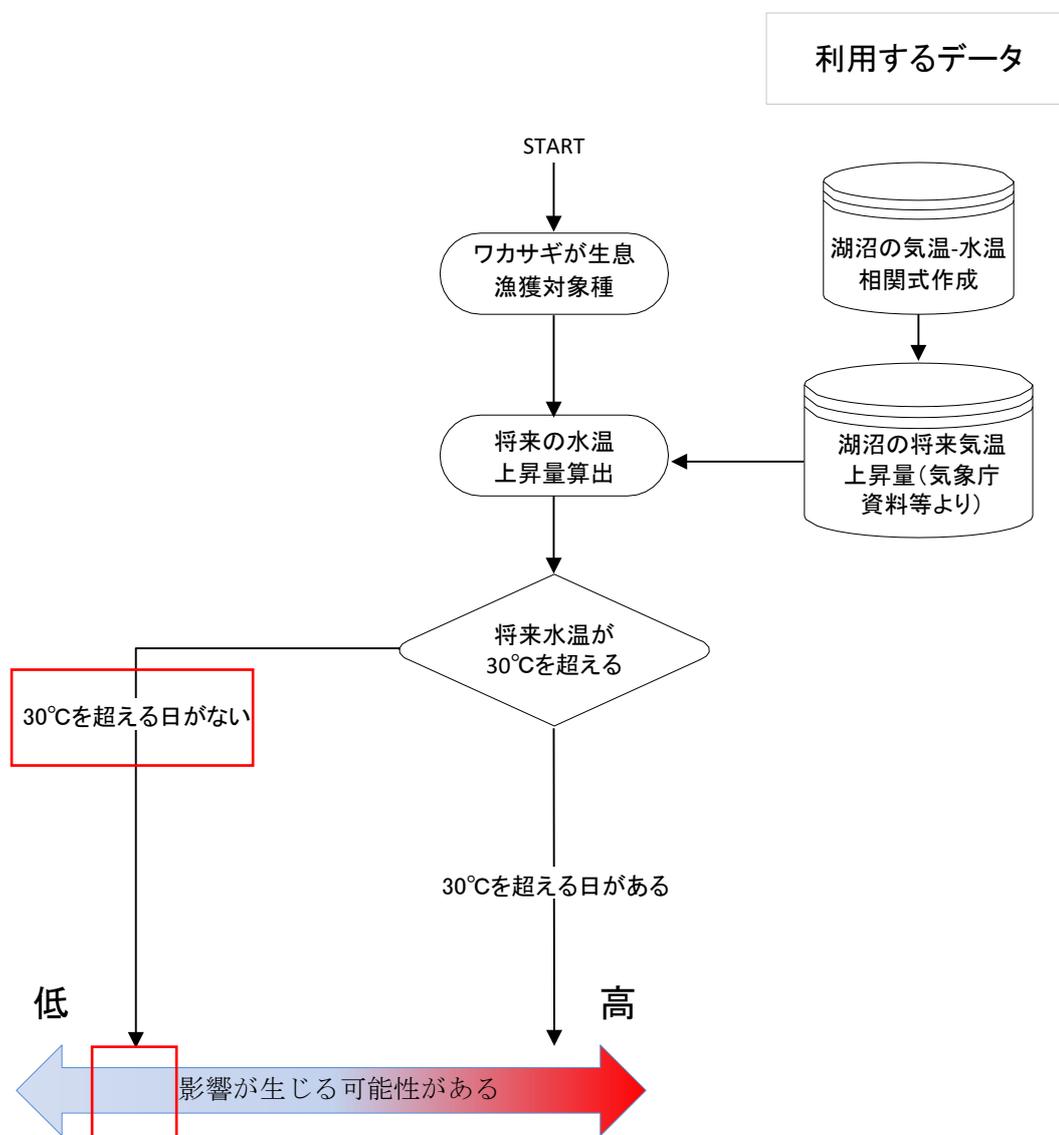
## (1) 気候変動による影響の検討と評価

### 1) 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響

水温上昇による冷水性魚類への影響については、図 1.1-12 のフローに従い、大沼における気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響を検討する。

ワカサギを例にして影響評価を行い、影響が生じる可能性の有無を検討する。ワカサギでは、成魚の生息適水温の範囲が 0~30℃であることが既往文献から分かっているため、将来の水温が 30℃を超えるかどうかで、ワカサギの生息への影響を評価する。

なお、ワカサギ以外の種については、魚種によって水温変化の適性や高水温への耐性が異なるため、検討対象とする魚種の生態的知見を収集し、その種の生息適水温を把握できれば、同様な検討を行うことが可能である。



※赤枠：大沼の検討結果

図 1.1-12 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響の検討フロー  
(影響評価の対象魚種をワカサギとした場合)

### A) 将来の水温上昇量算出

大沼における将来の水温上昇量の算出結果を図 1.1-13 に示す。将来の気温上昇量 4.5℃ (表 1.1-3) に対して、既往と水溫の相関式より、将来の水溫は最高に 27.8℃になる可能性がある。そのため、ワカサギの生活が可能である最高水溫としての 30℃を将来超える可能性は低いと考えられる。

⇒ 【影響評価】 気温上昇に伴う水溫上昇による冷水性魚類 (ワカサギ) への影響が生じる可能性が低いと考えられる。

#### 全年間・月平均

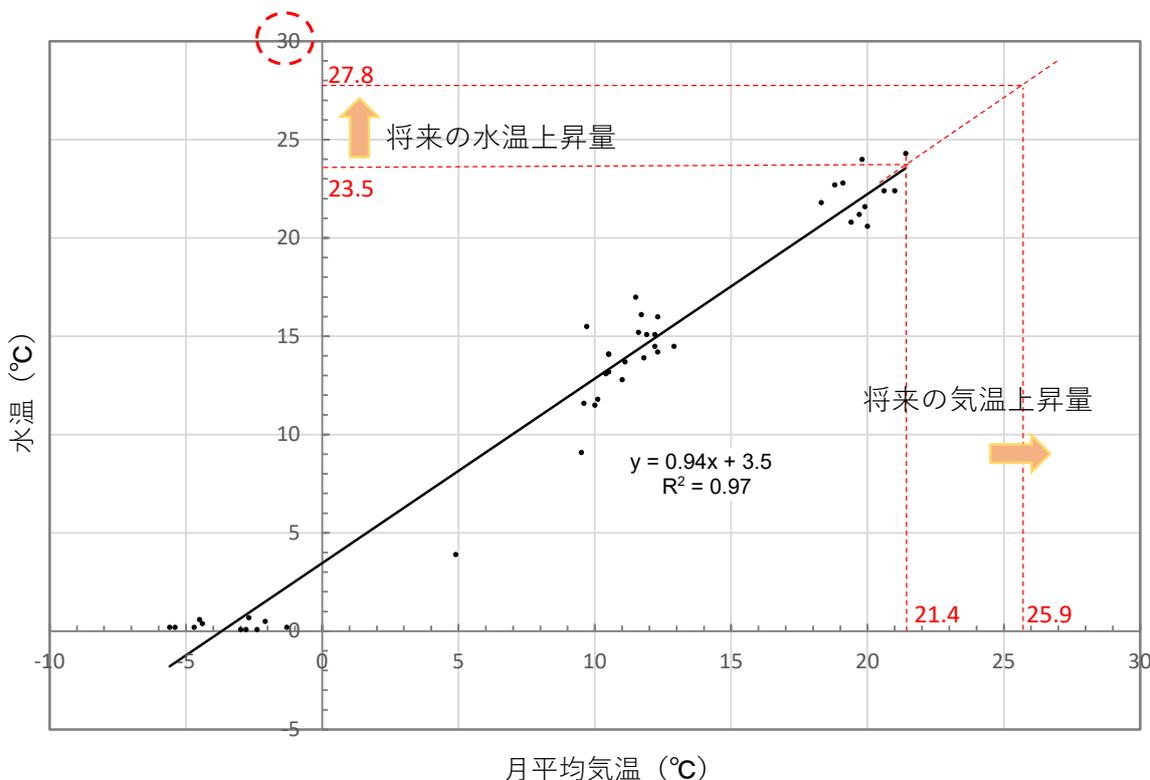


図 1.1-13 将来の水溫上昇量の算出

表 1.1-3 全国及び地域別の平均気温の変化

地域	年	春	夏	地域	秋	冬
全国	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	4.2 ± 0.5	全国	4.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9
北日本日本海側	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本日本海側	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.1
北日本太平洋側	4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本太平洋側	5.0 ± 0.8	5.5 ± 1.1
東日本日本海側	4.5 ± 0.6	4.1 ± 0.9	4.3 ± 0.6	東日本日本海側	4.7 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6	東日本太平洋側	4.5 ± 0.8	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.7 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本日本海側	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.9
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本太平洋側	4.3 ± 0.8	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.4	沖縄・奄美	3.5 ± 0.6	3.6 ± 0.8

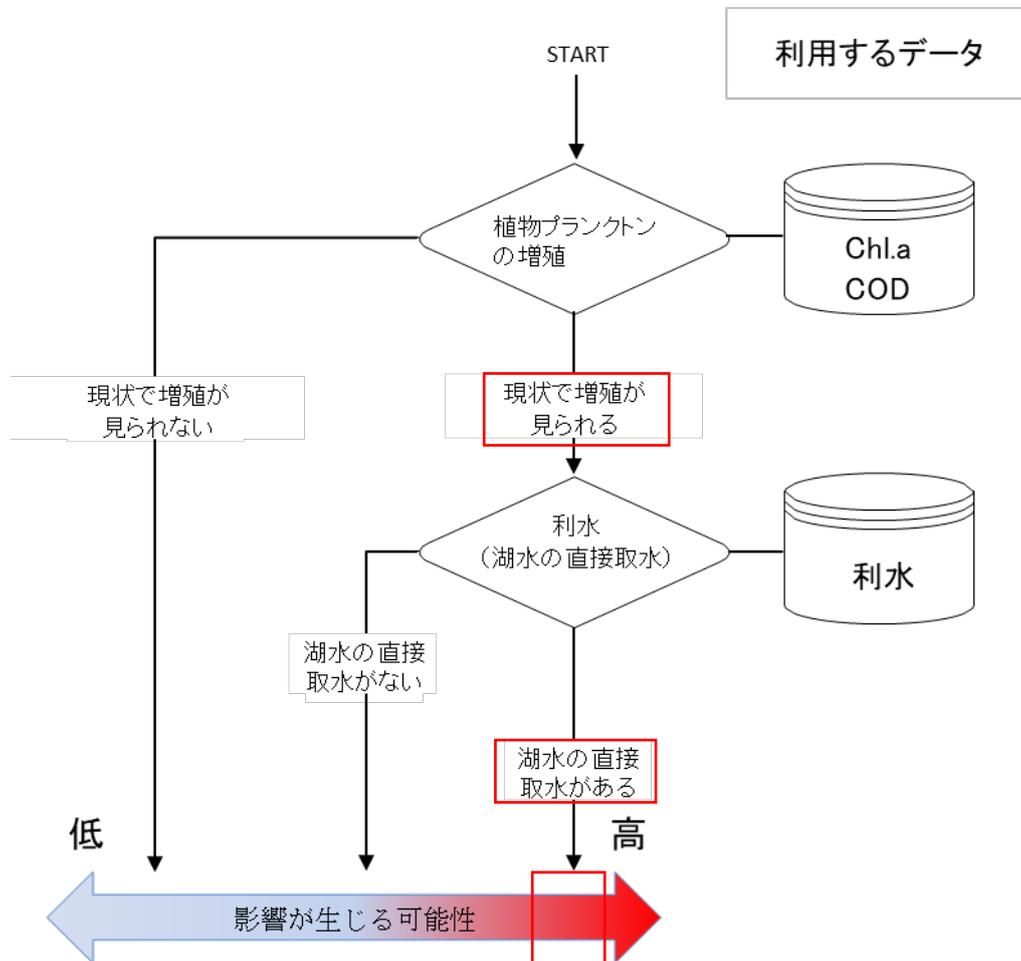
出典：気象庁 地球温暖化予測情報 第9巻 (2017年)

## 2) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響

図 1.1-14 に従い、収集・整理したデータ・資料を踏まえて、大沼における植物プランクトンの増殖（富栄養化）による利水への影響について整理する。

ここで、「植物プランクトンの増殖」が現状で生じているかを判断するために、COD の観測値を用いる（Chl.a データがあれば、直接的な植物プランクトン量の指標であるため、それを用いる）。特に、夏季の水温が上昇する時、アオコの原因藻類である藍藻類が増えると COD 濃度が上昇することから、そのような変化が生じているかどうかを確認する。

COD のデータは、公共用水域水質測定として各自治体が行っている調査結果から得ることができ、大沼においては、北海道による調査結果データを使用した。



※赤枠：大沼の検討結果

図 1.1-14 植物プランクトンの増殖による利水への影響の検討フロー

### A) 大沼における COD の変化(植物プランクトン増殖の有無)

大沼における長期的な COD 濃度の変化を図 1.1-15 に示す。調査頻度の変更はあったが、大沼では、ほぼ毎年、夏季に COD 濃度が上昇する傾向が見られている。これは植物プランクトンの増殖による影響であると考えられる。現地においても夏季アオコの発生が景観上等の問題となっていることも言われている。

⇒【影響評価】植物プランクトンの増殖があると判断される。

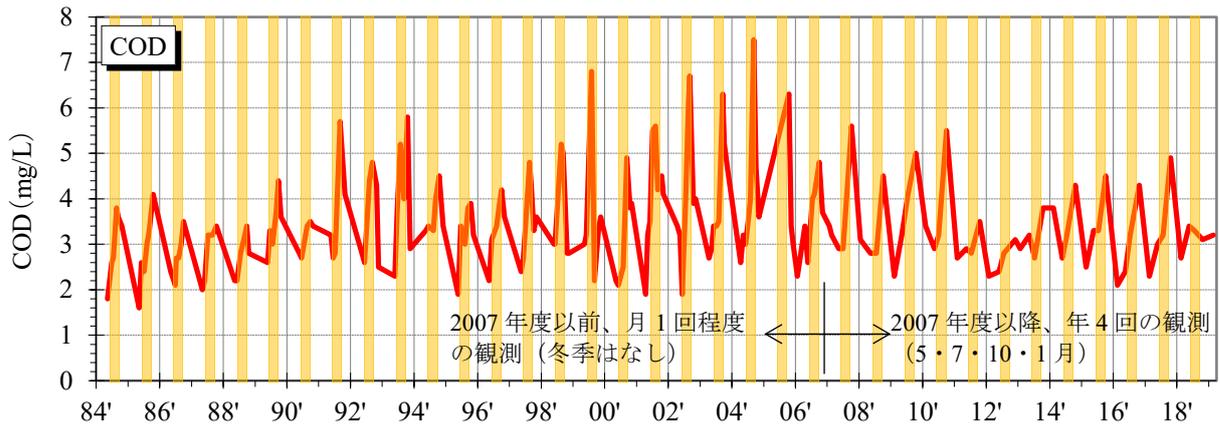


図 1.1-15 大沼(ST-1)における COD(表層)の変化(網掛けの期間は夏季)

### B) 大沼における利水の状況

自治体ヒアリング結果から、大沼では、湖水の直接的な取水・水利用としては、発電取水がある。また、発電後の放流水として、放流先でかんがい用水として利用されている。

⇒【影響評価】発電用水、かんがい用水での使用時に、湖水を浄化しての利用はないが、植物プランクトンが増殖することによって、取水の水質が悪化し、水利用への影響が生じる可能性が考えられる。

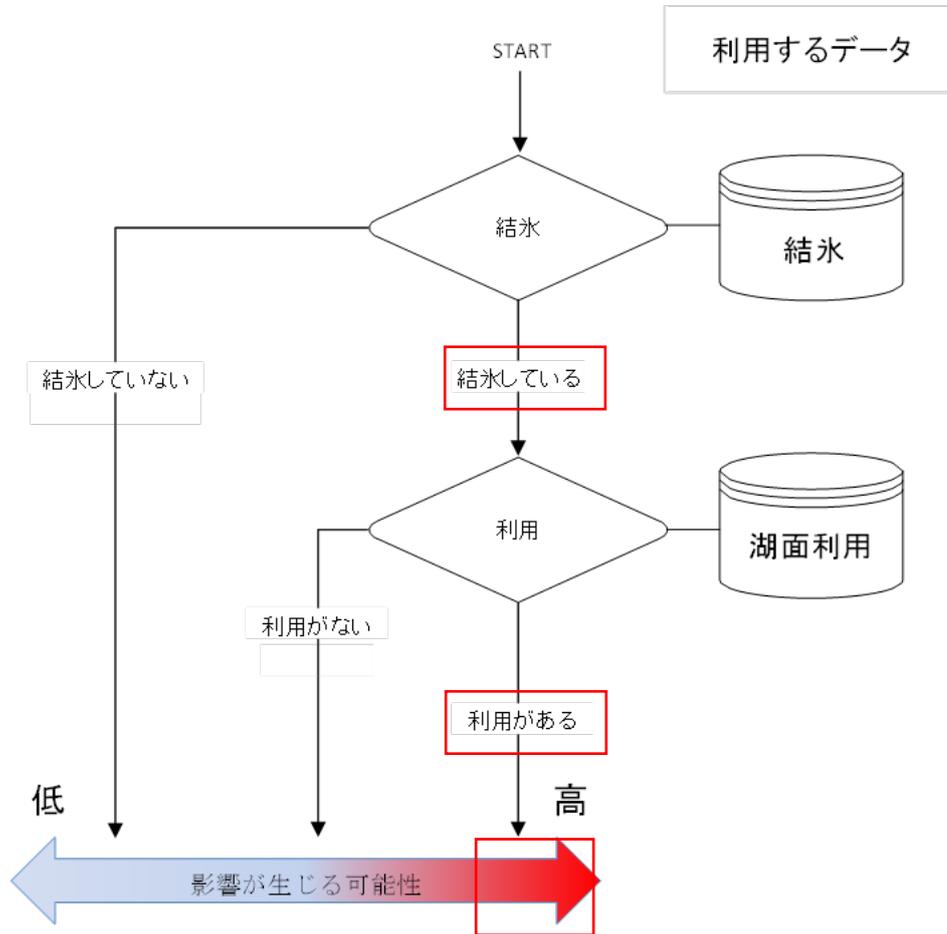
### C) その他想定される影響

その他に、自治体、ヒアリング結果等を踏まえて、植物プランクトンが増殖することで、考えられる大沼への影響としては、次のことが挙げられる。

- ・ 内水面漁業があり、漁獲への影響、風評被害
- ・ 観光客が多数訪れる観光地であり、景観の悪化
- ・ 水門操作、水位管理がなされており、流入状況、水位状況によって滞留等が変化することによる水質への影響。

### 3) 湖面結氷の短期化による地域への影響

湖面結氷の短期化による地域への影響については、図 1.1-16 のフローに従い、大沼における「湖面結氷の有無」、「湖面の利用の有無」から検討する。



※赤枠：大沼の検討結果

図 1.1-16 湖面結氷の短期化の影響の検討フロー

#### A) 大沼における結氷

自治体ヒアリング結果から、大沼では、冬季の結氷の状況（結氷する期間、氷の厚さ等）の情報・データは無いが、大沼では結氷していること、また結氷しないなど、以前と結氷の状況が変わっている印象はないという意見があった。

⇒【影響評価】冬季に湖面結氷する。

#### B) 湖面結氷の利用

地元のイベント（雪と氷の祭典）において、大沼の氷を切り出してイベントに利用している状況にある。

⇒【影響評価】結氷の利用があり、気候変動によってこの利用に影響が生じる可能性が考えられる。

(2) 影響評価を踏まえた適応策の検討

1) 既存計画および対策

大沼の環境保全のための各種施策の整合性を確保し、総合的に対策が推進されることを目的に、大沼環境保全対策協議会が構成員の合議により、「大沼環境保全計画」が策定されている。平成9年（1997年）2月に第1期目の計画を策定し、平成19年（2007年）5月には第2期目の計画を策定して対策を進めてきたが、第2期目の計画期間満了に伴って計画の見直しを行い、平成29年（2017年）6月に第3期目の計画を策定した。

「大沼環境保全計画」では、図 1.1-17 の対策が実施されている。

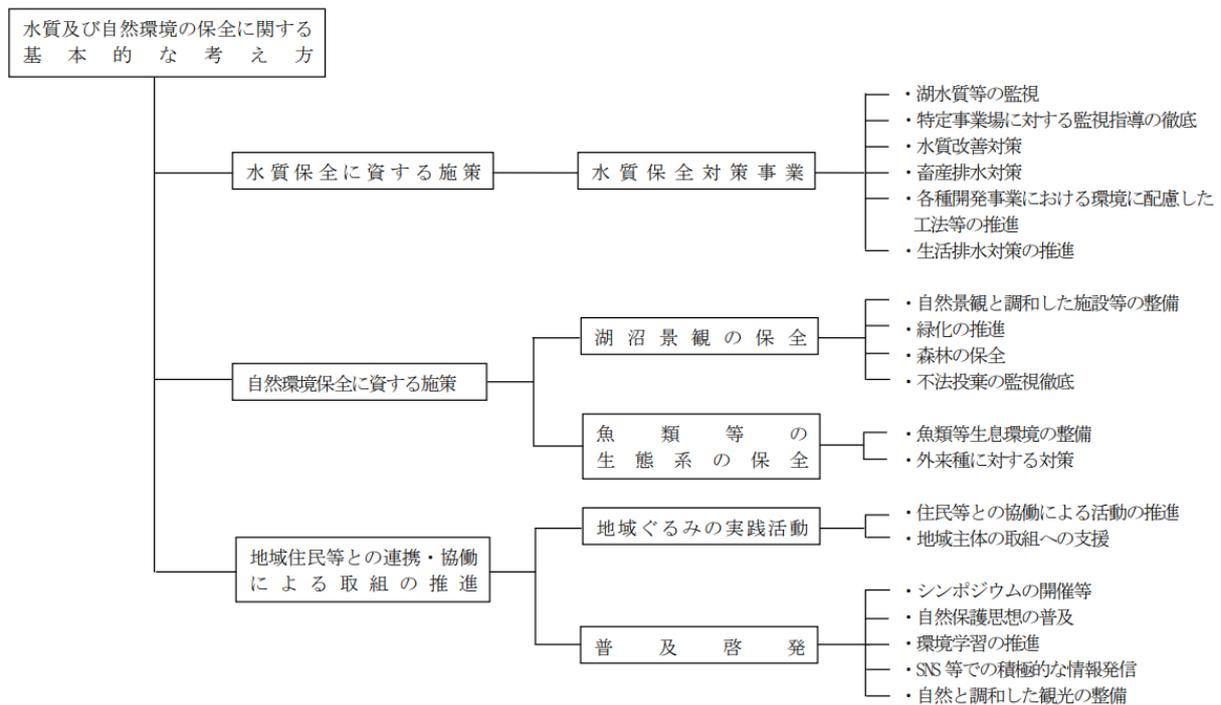


図 1.1-17 大沼環境保全計画の主な施策  
(大沼環境保全計画:H29.6、大沼環境保全対策協議会)

## 2) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響に対する適応策

大沼の特徴から、適応策の視点として、手引きに示す気候変動影響に対する適応策メニューの例(表 2-1 P2-30)の適応策の視点のうち、「H.000」「I.000」「J.000」が該当し、これらへの対応が適応策として考えられる。

なお、利水について大沼では取水はあるが、現状で浄水処理はされていないため、浄水処理の能力不足に対する適応策は選定しないこととする。

以上を踏まえて、大沼において適用性が考えられる適応策オプションは表 1.1-4 の通りである。

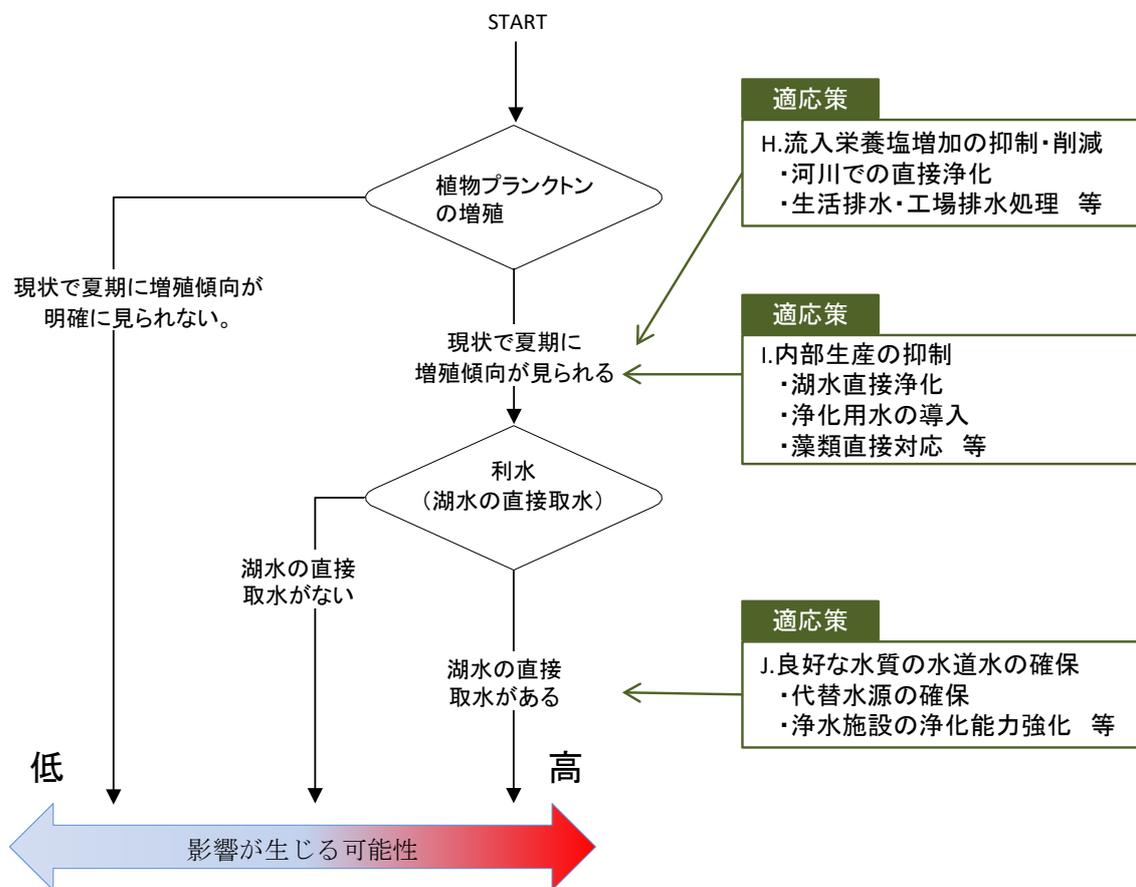


図 1.1-18 植物プランクトンの増殖による利水への影響に対する適応策の検討フロー

表 1.1-4 大沼における植物プランクトン増殖と、利水影響に対する適応策の例

適応策の視点	適応策メニュー		既存対策の有無	既存対策の対応力	適応策の方向性	
H. 流入栄養塩増加の抑制・削減	15	河川での直接浄化		流域での負荷削減、水質保全対策がメインであり、負荷削減の強化が必要である。 また、沼内での対応の必要性も検討する必要がある。	既存対策の強化	
		沈澱				
		ろ過、接触酸化				
		植生による浄化				
		底泥浚渫(継続的)				
	16	生活排水処理				
	下水道整備、下水処理場の高度化(窒素りん除去)	○				
	合流式下水道の改善					
	窒素りん除去型の高度処理型合併処理浄化槽設置					
	17	環境保全型農業の実施(負荷低減)	○			
	18	工場・事業場等、排水基準の強化				
	19	市街地、道路等からの面源負荷削減(雨水流出抑制、路面・側溝清掃等)				
I. 内部生産の抑制	20	曝気等による水の流動促進			流域での負荷削減、水質保全対策がメインであり、負荷削減の強化が必要である。 また、沼内での対応の必要性も検討する必要がある。	沼内での対策の追加
		浅層曝気				
		全層曝気				
		流動促進装置による流動化				
		浄化用水の導入(流動化、希釈)				
	21	プランクトン増殖抑制を考慮した湖水の放流、水位管理				
	22	湖内での直接浄化				
		接触酸化				
		土壌浄化				
		植生浄化	○			
	凝集処理					
23	水生植生帯の整備	○				
24	藻類の除去					
	衝撃殺藻、紫外線殺藻等 吸引等による直接除去					
25	漁獲による栄養塩の系外除去					
J. 良好な水質の水道水の確保	26	代替水源の確保				
	27	脱臭処理の強化(活性炭の準備)				
	28	浄水施設の浄化能力強化				
	29	局所的な清澄水域の確保(フェンス等)				
	30	水面利用方法の変更検討				

### 3) 湖面結氷の短期化による地域への影響に対する適応策

大沼では冬季の湖面結氷を地元の祭りイベントに利用している状況であることから、気候変動により結氷が短期化し、現状の利用ができなくなることに對して、表 1.1-5 のような適応策が考えられる。

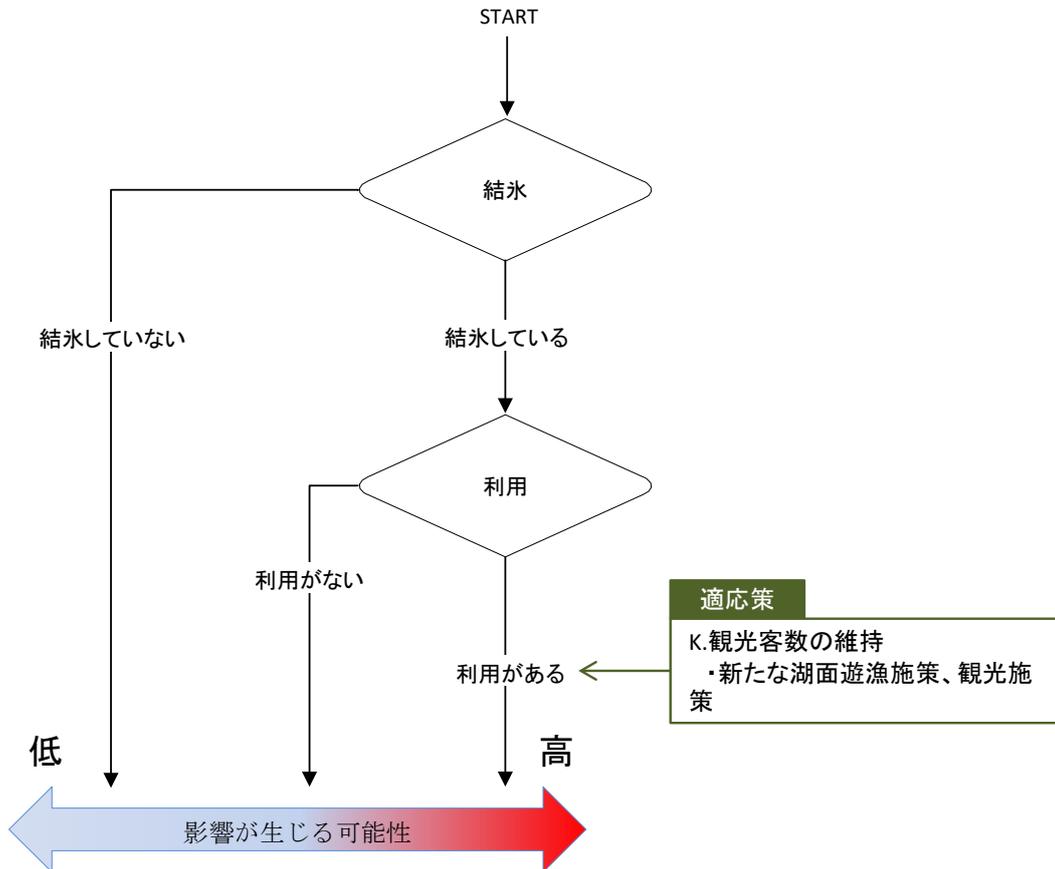


図 1.1-19 湖面結氷の短期化影響に対する適応策の検討フロー

表 1.1-5 大沼における湖面結氷の短期化による地域への影響に対する適応策の例

適応策の視点	適応策メニュー		既存対策の有無	既存対策の対応力	適応策の方向性
K.観光客数の維持	31	新たな遊漁施策の検討(例えばワカサギ釣りなどの代替)		気温上昇、結氷への影響の対応は難しいため、生じる状況を想定した対応が必要	○
	32	新たな観光施策の検討			

## 1.2 十和田湖(青森県・秋田県)

### 1.2.1 情報・データ等の収集

#### (1) 湖沼・流域の特徴等の収集

十和田湖は、青森・秋田両県県境に位置し、十和田八幡平国立公園を代表する重要な自然資源であり、国の特別名勝及び天然記念物に指定されている国内有数の景勝地である。また、国内外から多くの観光客が訪れるなど、人々を魅了してやまない神秘的な自然美を備えた湖である。(H27年3月、十和田湖水質・生態系改善行動指針)

十和田湖について、「十和田湖水質・生態系改善行動指針」の中で、CODと透明度を水質の目標指標として定めている。

秋田県と青森県の共催で毎年、十和田湖環境保全会議を開催している。そこでは、研究者から研究成果の発表等も行われている。公開された会議であり、一般の方でも参加できる。

次ページに、湖沼・流域の地形、諸元等を示す。

また、関連資料収集および自治体ヒアリング結果から、主な特徴を以下に整理した。

#### 1) 地形的特徴

- ・ 十和田湖は国立公園として、四季折々の変化に富んだ国際的な景勝地である。観光客数は年間約300万人である。
- ・ 秋田県の北東と青森県境に広がる大型二重カルデラ湖であり、周囲は約44キロメートル、面積は約60平方キロメートル、最深水深は327メートルである。
- ・ 湖面積は流域面積より広い。
- ・ 主な流入河川が複数あるが水源は外輪山からのブナ林に貯えられた雨や雪である。
- ・ 唯一の流出河川の奥入瀬川は湖の東岸の子ノ口から北東に流れる。
- ・ 発電にも利用され、青樫取水口より山中の導水路を通じて、奥入瀬溪流下流にある十和田発電所、その他発電所へと送水され、途中で支流の取水を逆送水することで湖の水位を保ち、発電で使われた水は灌漑用水としても利用される。

## 青森県・秋田県 十和田湖



### 【諸元】

標高	400m
湖面積	61.1km <sup>2</sup>
最大水深	327m
湖容積	41億m <sup>3</sup>
流域面積	59.74km <sup>2</sup>
流域人口 (H27)	十和田市63,429人 小坂町5,007人
下水道普及率 (H27)	十和田市67.1% 小坂町49.1%

〈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	平成29年度水質状況 (単位: mg/L)	
			St-5	St-9
COD	湖沼・AA	1mg/L以下	1.4	1.4
T-N	-	-	0.08	0.07
T-P	-	-	0.003	0.004

備考: 基準値の評価方法

COD: 各基準点における全層平均の年間75%値。

T-N、T-P: 各基準点における表層の年間平均値。

〈データ出典〉

- ・平成29年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果(県)
- ・秋田県小坂町ホームページ
- ・青森県十和田市ホームページ

## 2) 自然的特徴

- ・ 十和田湖の水質は、環境基準は湖沼 AA 類型（COD1mg/L 以下）であり、指針でも環境基準を目標としている。
- ・ 透明度は、年平均で 12m 以上を目標としているが、現在では 11m 程度で推移している。
- ・ 十和田湖では、かつて観光客が多く、その排水等が十和田湖に流入していたため、青森・秋田両県で、昭和 55 年から「十和田湖特定環境保全公共下水道事業」に着手し、整備を進めた結果、現在では生活排水はほぼ十和田湖に入っていない。このため、現在、環境基準が達成できていない理由は、流域からの自然系の面源負荷が原因ではないかと考えられている。
- ・ 十和田湖内には、湖底に水温が高い場所があり、この場所では地下から温泉水が湧出しているのではないかと考えられている。

## 3) 利用状況

### A) 利水

- ・ 青森県側の青樫取水口より取水があり、十和田発電所を含む複数の発電所に送水される。
- ・ 十和田湖での利水として、発電取水の取水口は青森県側にあり、秋田県側には取水口はない。また、十和田湖からの河川流出は青森県側の奥入瀬川だけである。ここからの放流調整などにより、湖水位の管理がなされている。

### B) 漁業

- ・ 十和田湖では、ヒメマスの子魚を毎年放流している。ヒメマスの漁獲量として長期的に減っている等の傾向は見られていない。年によって餌となるプランクトンの発生量が少なく漁獲量が少なくなる時もあるが、その分はストックとなって翌年以降の漁獲につながることが多い。
- ・ 以前、ヒメマスの子魚の放流し過ぎが原因と見られる餌のプランクトンの減少、ワカサギの大繁殖等により、ヒメマスの数が少なくなったことがあった。そのことを踏まえて、現在では適正な尾数の子魚を放流することでうまくコントロールができています。
- ・ ヒメマスを飼育する際は、水温が 15 度より高くなると育てにくくなるということはあるようだが、自然界においては、水温が 15 度を超えるとすぐに生息できなくなるということはない。ヒメマスは移動できるため、深い層に移動すれば、どこかに適水温帯がある。
- ・ 十和田湖にはコイも生息しているが、水温が低いいため天然再生産はできないと言われている。その状況は変わっていないことから、水温が上昇しているとは考えにくい。

- ・ 十和田湖でのヒメマス漁獲量は、毎年 10～20t であり、今後もその漁獲量を維持できればいいと考えている。近年は変動も少なく、稚魚の放流によってコントロールできている。

### C) 観光資源

- ・ 十和田湖では冬季に湖面結氷はしない。
- ・ 十和田湖での観光について、宿泊等の施設は秋田県側には少なく、青森県側に多い状況である。
- ・ 湖面利用は遊覧船がある程度で、釣り客も少なく、利用は多くない。
- ・ 地元では十和田湖周辺で、冬に「十和田湖冬物語」といったイベントが開催されている。

## (2) 水理・水質、気象データの収集

### 1) 経年変化

気象について、長期的な変化を図 1.2-1 に整理した。年平均気温は上昇傾向がみられる。なお、近年の降雪量は、少ない傾向が見られる。

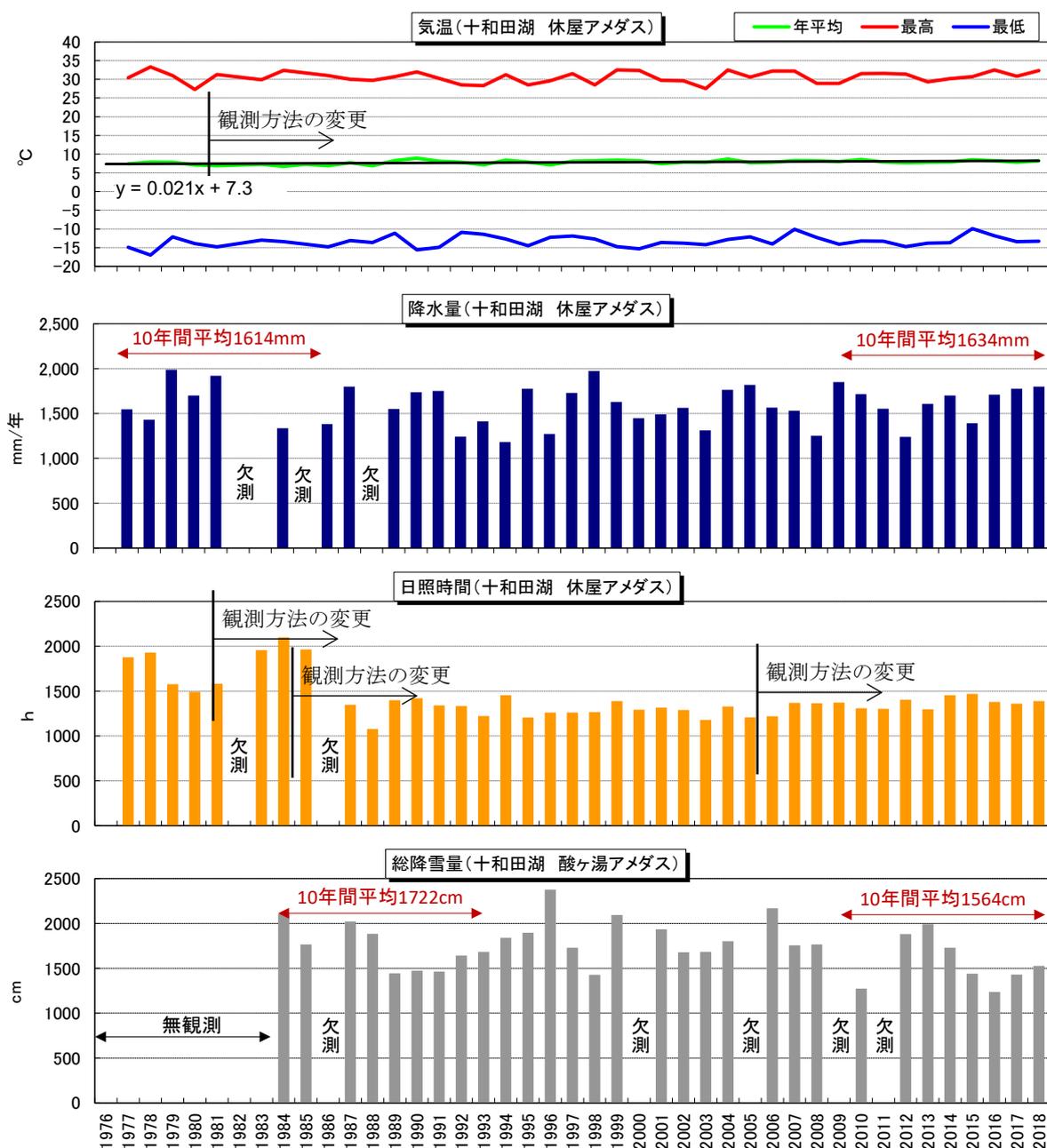


図 1.2-1 気象の経年変化(気象庁アメダス:酸ヶ湯・休屋)

## 2) 気温(真冬日)

冬季の湖面結氷に影響すると考えられる真冬日の発生日数について図 1.2-2 に整理した。2010年代の真冬日は、1980年代と比較すると、平均的に日数が減少している傾向が見られる。

※真冬日：最高気温が0℃未満の日

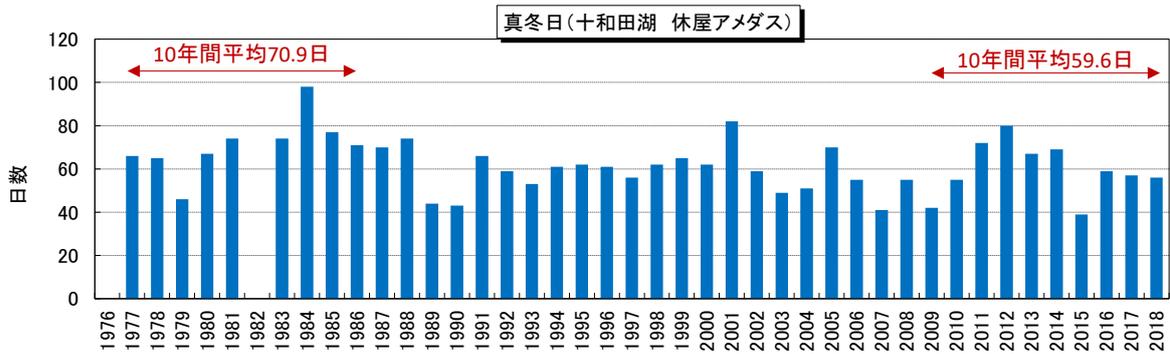


図 1.2-2 真冬日の経年変化(気象庁アメダス:休屋)

## 3) 気温(夏季・冬季平均気温)

十和田湖に生息する冷水性魚類への影響が考えられる夏季気温と、冬季の全循環不全への影響が考えられる冬季気温の経年変化を図 1.2-3 に整理した。7、8、1、2月平均気温について単純に直線回帰式をあてはめると、やや上昇している傾向が見られた。

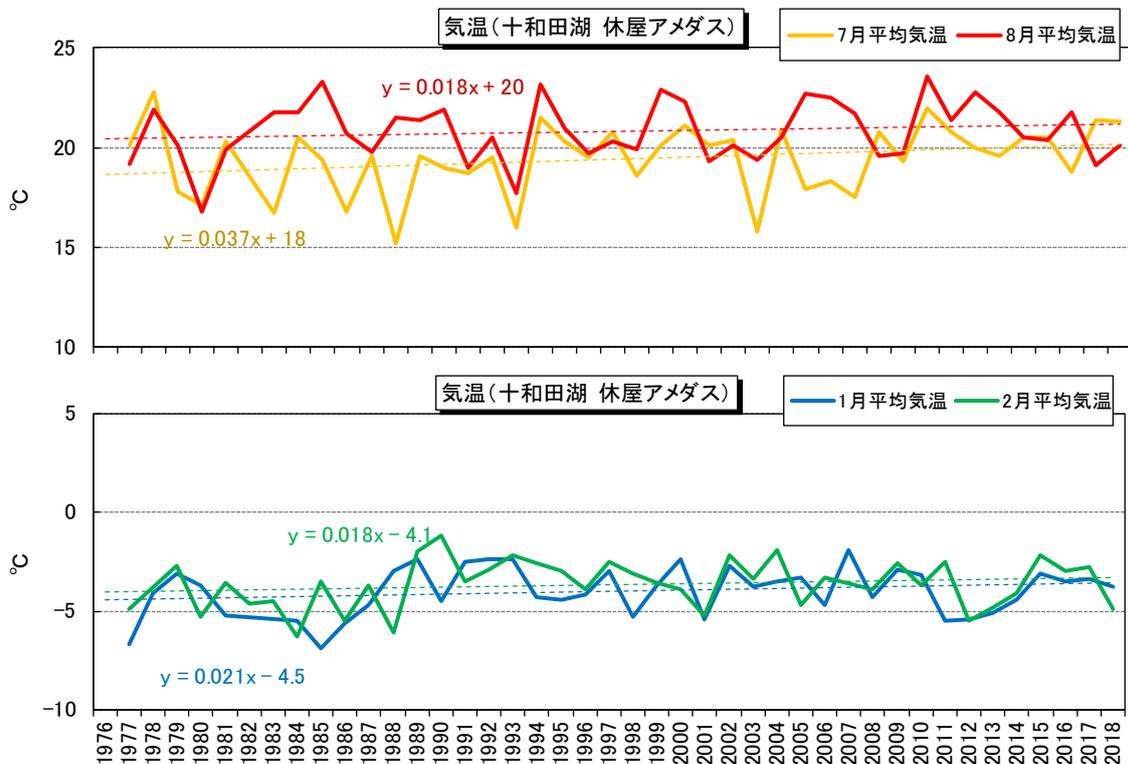


図 1.2-3 夏季と冬季平均気温の経年変化(気象庁アメダス:休屋)

### (3) 気候変動に伴う将来の気象

十和田湖における将来の気象がどのように変化するかについて具体的に把握するために、公表資料である、気象庁仙台管区气象台が作成した、「東北地方の地球温暖化予測情報 IPCC のRCP8.5 シナリオを用いた地域気候モデルによる今世紀末のシミュレーション結果」(青森県)を参考に整理した。

この資料では、「地球温暖化予測情報 第9巻：RCP8.5」の計算結果に基づき整理されている。この資料から、十和田湖の気候変動影響に関連するとして、十和田湖が位置する青森県における気温、降水量の情報を抽出した。

#### 1) 気温

将来気候では夏(6-8月)に平均気温が4.6度の上昇、真夏日も平均的に36日増加する。また、冬(12-2月)に平均気温が5.0度の上昇、真冬日も現在より24日減少しほとんどみられなくなる。

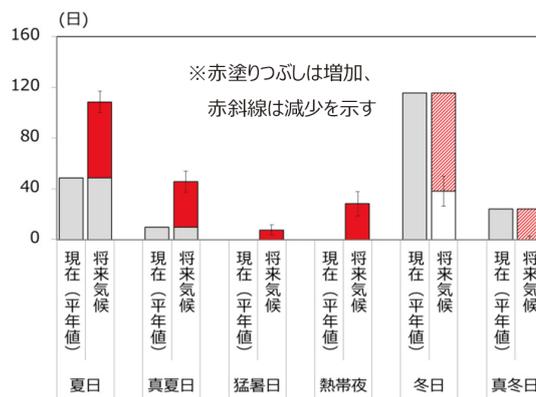
	年	春	夏	秋	冬
平均気温	4.7±0.7	4.2±0.9	4.6±0.7	4.9±0.8	5.0±1.1
日最高気温	4.5±0.7	4.0±1.0	4.4±0.7	4.8±0.8	4.9±1.1
日最低気温	4.8±0.6	4.4±0.8	4.7±0.7	5.0±0.8	5.3±1.1

夏日	真夏日	猛暑日	熱帯夜	冬日	真冬日
60.0±8.5	35.9±8.4	7.2±4.0	28.2±9.5	-77.4±12.1	-23.7±2.1

図 1.2-4 及び付表 青森県平均の気温に関する変化量(単位:°Cまたは日)

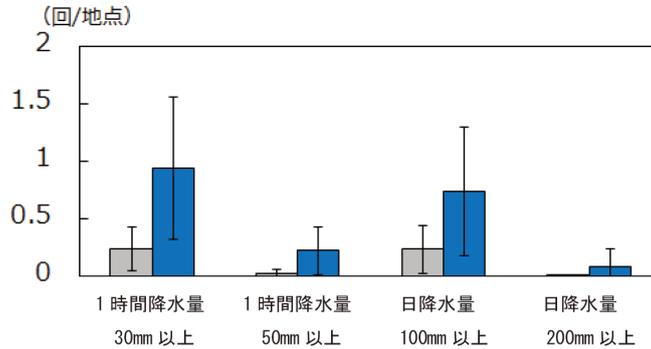
図の赤棒グラフは将来気候の値から現在気候の値を引いたもの。細線は現在気候、将来気候それぞれにおける年々変動の標準偏差。付表はそれらの各数値を「将来変化量±将来気候の標準偏差」で示し、信頼水準90%で統計的に有意とならない場合は灰色に塗りつぶしている。また、有意で且つ変化量の絶対値が現在気候の年々変動の標準偏差より大きい場合はプラス(マイナス)偏差をオレンジ色(水色)に塗りつぶしている。ただし、「冬日」と「真冬日」についてはプラス(マイナス)偏差を水色(オレンジ色)に塗りつぶしている。RCP8.5シナリオによるNHRCM05を用いた予測結果に基づく。



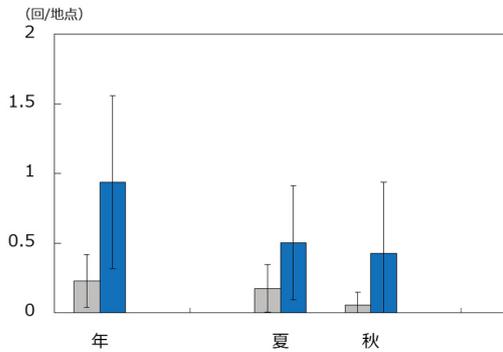
(d) 日最高気温25°C以上(夏日)、日最高気温30°C以上(真夏日)、日最高気温35°C以上(猛暑日)、日最低気温25°C以上(熱帯夜)、日最低気温0°C未満(冬日)、日最高気温0°C未満(真冬日)年間日数の将来変化。赤色の棒グラフは20世紀末平均と比べた21世紀末平均の変化量、灰色の棒グラフは平年値(1981~2010年平均)。

## 2) 降水量

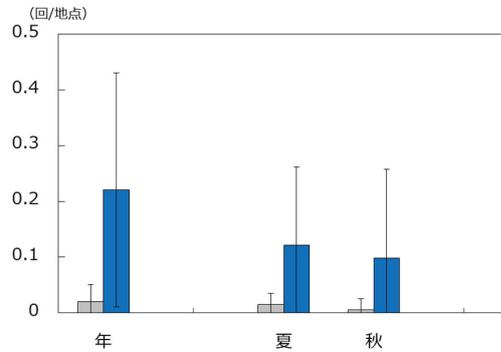
日降水量 100mm 以上の発生確率が現在の約 2.5 倍に増加すると整理されている。



(c) 短時間強雨（1時間降水量30mm以上、1時間降水量50mm以上）と大雨（日降水量100mm以上、日降水量200mm以上）の年間発生回数の変化



(d) 1時間降水量30mm以上の年・季節別発生回数の変化



(e) 1時間降水量50mm以上の年・季節別発生回数の変化

	年	春	夏	秋	冬
降水量	-31.9±193.3				
日降水量 1mm未満回数	10.3±9.5	1.5±4.8	1.5±5.5	3.1±4.7	4.1±4.9
1時間降水量 30mm以上回数	0.7±0.6		0.3±0.4	0.4±0.5	
1時間降水量 50mm以上回数	0.2±0.2		0.1±0.1	0.1±0.2	
日降水量 100mm以上回数	0.5±0.6				
日降水量 200mm以上回数	0.1±0.2				

図 1.2-5 及び付表 青森県平均の降水量に関する変化（単位：mmまたは回）

(a)、(b) における棒グラフは将来気候の値から現在気候の値を引いたもの。(c) ~ (e) における棒グラフは現在気候（灰）と将来気候（青）における1地点あたりの発生回数。細線は現在気候、将来気候それぞれにおける年々変動の標準偏差。付表はそれらの各数値を「将来変化量±将来気候の標準偏差」で示し、信頼水準90%で統計的に有意とならない場合は灰色に塗りつぶしている。また、有意で且つ変化量の絶対値が現在気候の年々変動の標準偏差より大きい場合はプラス（マイナス）偏差を水色（オレンジ色）に塗りつぶしている。ただし、「日降水量1mm未満」についてはプラス（マイナス）偏差をオレンジ色（水色）に塗りつぶしている。季節別の降水量及び大雨発生回数（日降水量100mm以上、日降水量200mm以上）は、はっきりとした傾向が見られない等により、値を表示しない。短時間強雨（1時間降水量30mm以上、1時間降水量50mm以上）の春と冬の発生回数の変化は、はっきりとした傾向が見られない、または事例数が少ない等により、値を表示しない。RCP8.5シナリオによるNHRCM05を用いた予測結果に基づく。

### 3) 年降水量

#### 年降水量

- ・年降水量に有意な変化は見られない。

#### 日降水量1mm未満の発生回数（無降水日数）

- ・秋、冬に有意な増加、年には現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、雨の降る日が減少することを示している。

#### 1時間降水量30mm以上の年・季節別発生回数

- ・年と夏、秋で現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、1地点あたりの平均で現在気候において数年に1回の激しい雨が、将来気候ではほぼ毎年発生することを示している。

#### 1時間降水量50mm以上の年・季節別発生回数

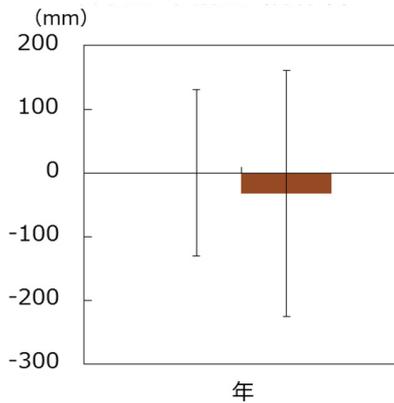
- ・年と夏、秋で現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、1地点あたりの平均で現在気候では稀にしか発生しない非常に激しい雨が、将来気候では数年おきに発生することを示している。

#### 日降水量100mm以上の年間発生回数

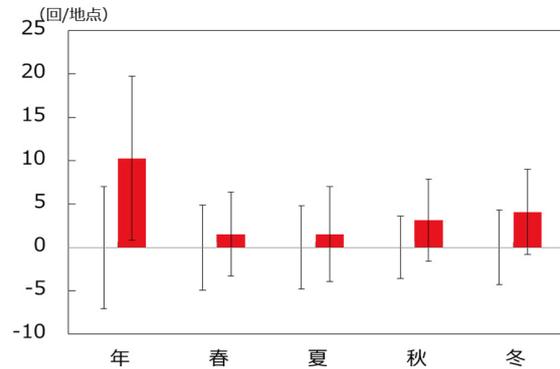
- ・現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、1地点あたりの平均で現在気候において数年に一度の大雨が、将来気候ではほぼ毎年発生することを示している。

#### 日降水量200mm以上の年間発生回数

- ・現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、現在気候においてほとんど発生しないような大雨が、将来気候では1地点あたりの平均で10年に1回程度発生することを示している。



(a) 年降水量の変化量



(b) 日降水量1mm未満の回数（無降水日数）の年・季節別の変化量

#### 4) 年最深積雪深

年降雪量はいずれの地域においても、将来変化量が現在気候の年々変動の幅を超える大きな減少となっている。

東北地方全体では、将来気候の年降雪量は現在気候より 73%程度 of 減少となっており、地域別に見てみると、東北太平洋側で減少率が最も大きく、80%程度の減少となっている。一方、東北日本海側で減少率が最も小さく、69%程度の減少となっている。降雪量の減少は、気温の上昇に伴って雪が雨として降るだけでなく、日本付近の大気の流れが変わることもその原因の一つと考えられる。ただし、地球温暖化が進行した状態でも、本州の内陸部ではたまたま発生する極端な降雪の頻度が増大するという研究報告もある。

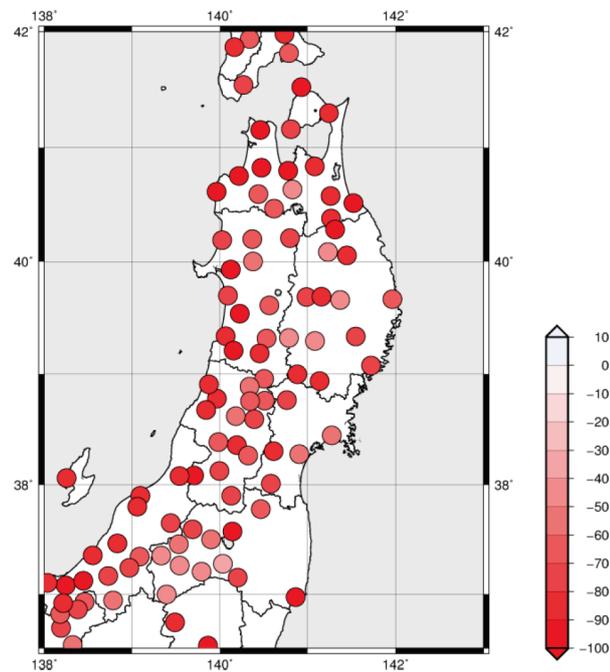


図 1.2-6 東北地方の年最深積雪の将来変化率(単位: %)

年最深積雪の現在気候に対する将来気候と現在気候の差の比(バイアス補正済み)。変化傾向(増減)が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外)。気象庁によるIPCCのRCP8.5シナリオに基づくシミュレーション結果(気象庁, 2017a)をもとに作成。

## 1.2.2 気候変動影響の整理

### (1) 長期的な十和田湖の水質変化

十和田湖における代表的な水質地点（St-5 中央）における 1980 年からの水質について、富栄養化・植物プランクトンの増殖に関連する COD、T-N、T-P を図 1.2-7 に整理した。

十和田湖において、COD と T-N について見ると、1980 年代と比較すると、2000 年代以降においては平均的に濃度が高くなっている傾向が見られる。最近はやや横ばい。

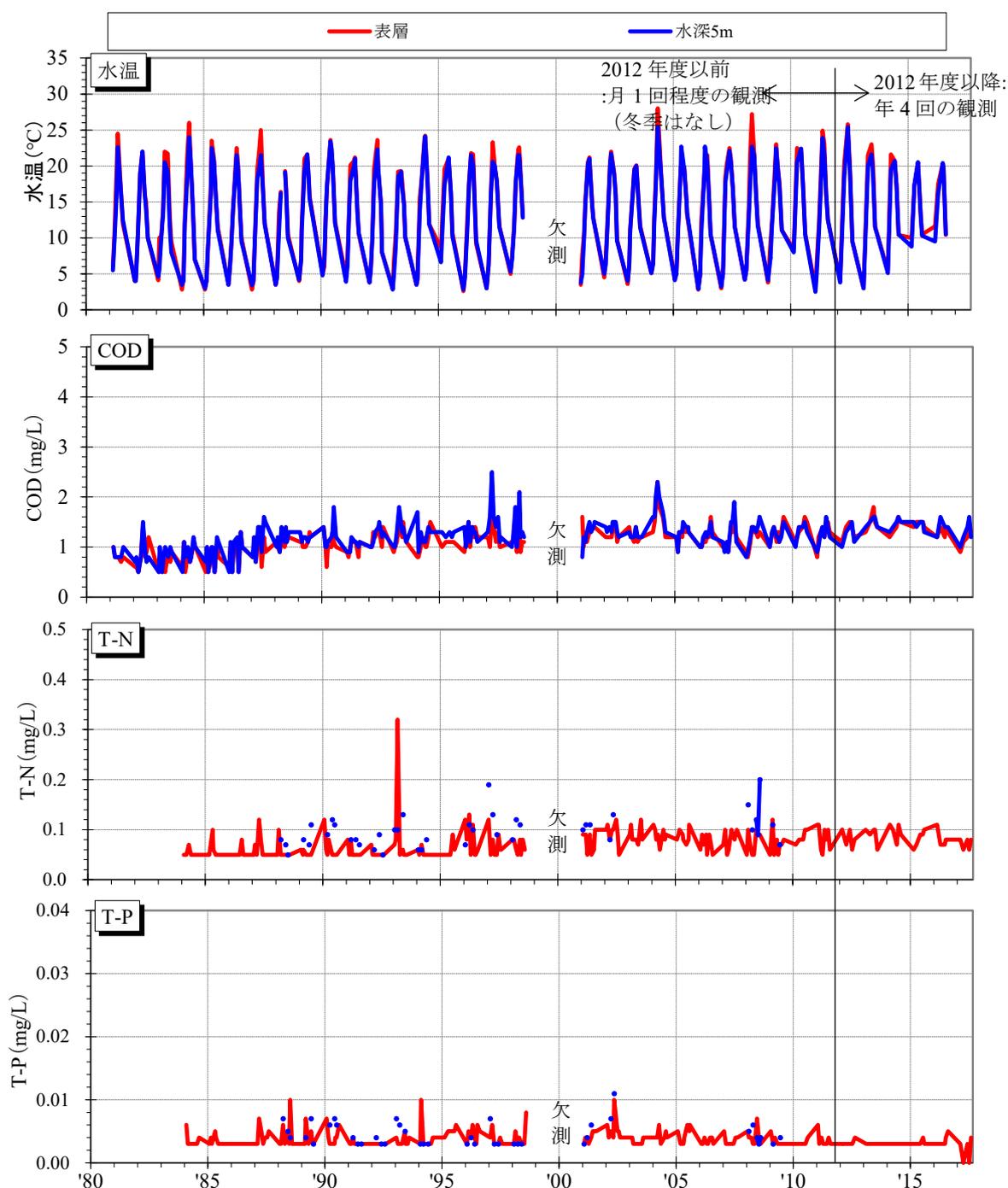


図 1.2-7 十和田湖における水質の経年変化(St-5 中央)

※データ出典：環境省 公共用水域水質測定結果

十和田湖の湖心において、2008～2019年の水温とDOの鉛直分布を図1.2-8と図1.2-9に示す。経年変化は見られず、5月に上下層の湖水温度に大きな差がなかったが、9月に水温成層ができているが底層のDOは低下していないことが分かった。

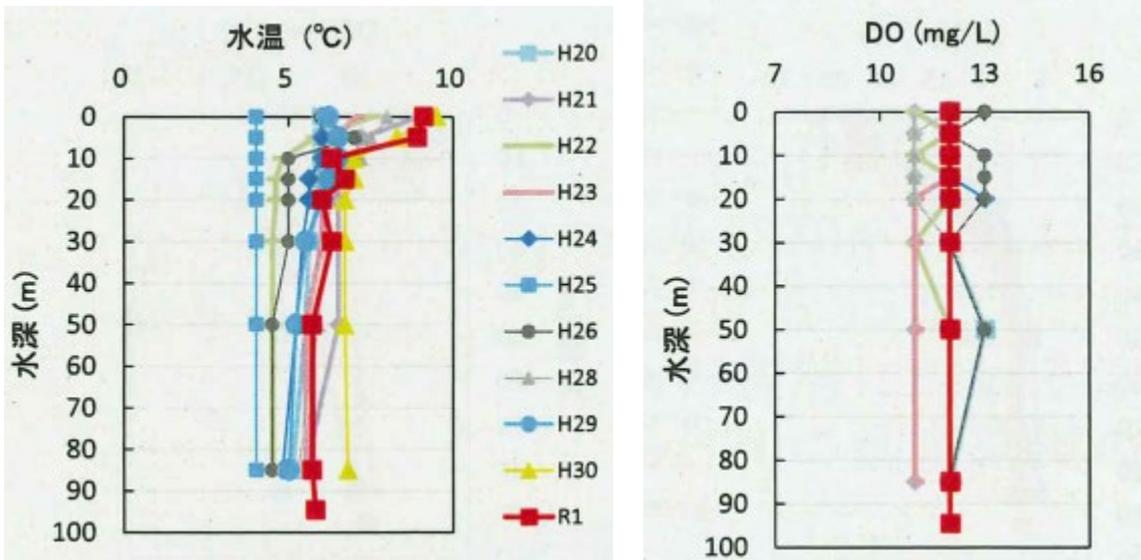


図 1.2-8 十和田湖における水質の鉛直分布(5月 湖心)

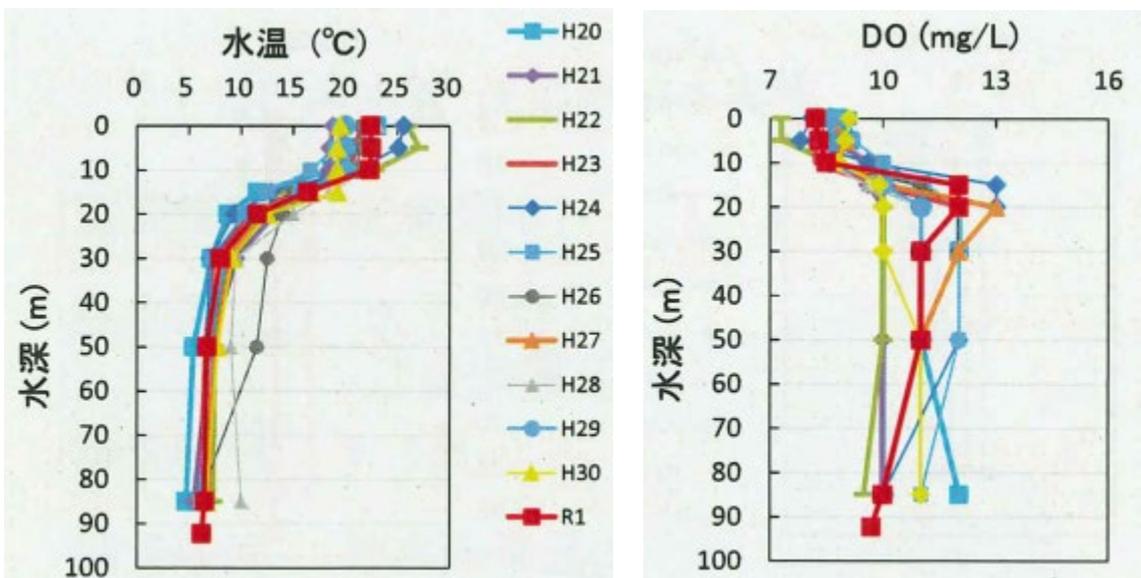


図 1.2-9 十和田湖における水質の鉛直分布(9月 湖心)

※出典：令和元年度 十和田湖環境保全会議資料

### 1.2.3 影響評価の実施、適応策の検討

以上の十和田湖における特性の整理結果を踏まえて、十和田湖における気候変動による影響を想定すると、表 1.2-1 の項目が挙げられる。これらの影響のうち、手引きで示している全循環不全による影響と気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響について、簡易的な手法により、検討を行った。

表 1.2-1 検討対象とする気候変動影響の選定(十和田湖)

水環境の変化	水環境の変化 (影響を評価するための指標)		生活や地域社会への影響	情報・データ整理の結果を記入	
				湖沼の特徴	検討必要有無
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	底層利用種の漁獲量	水温躍層の形成	○
	②	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	(同上)	○
水温の上昇	③	冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	冷水性魚類の漁獲量、遊漁人口	ヒメマス等を漁獲	○
	④	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド、水生植物	夏季等に顕著な植物プランクトンの増殖は見られていない	-
	⑤	魚類等の生息水深の変化	漁法、漁獲量	ヒメマス等を漁獲	○
	⑥	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	ヒメマス等を漁獲	○
湖面結氷の変化	⑦	湖面結氷の短期化	景観、湖面結氷や氷を利用したイベント等（地域資源）	冬季に結氷していない	-
融雪時期の流入量・栄養塩供給時期の変化	⑧	植物プランクトン発生時期、量の変化	漁獲量	積雪・融雪はあるが、湖容量に比べて流域は広くない	-
	⑨	春先の栄養塩供給量の減少	漁獲量、漁業適期、利水（浄水処理）、景観、臭気	(同上)	-
	⑩	春先の融雪水量の減少	(⑩と同じ)、利水（かんがい等）	(同上)	-
降雨強度の変化による出水時流入栄養塩量の増加	⑪	浮遊物質量の増加、透明度の変化	利水（浄水処理）、景観	湖容量に比べて流域は広くなく、河川流量の変化による水質変化影響は小さい	-
	⑫	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁獲量	(同上)	-
降水量の減少による平常時流量の減少		(⑫と同じ)	(⑫と同じ)	(同上)	-

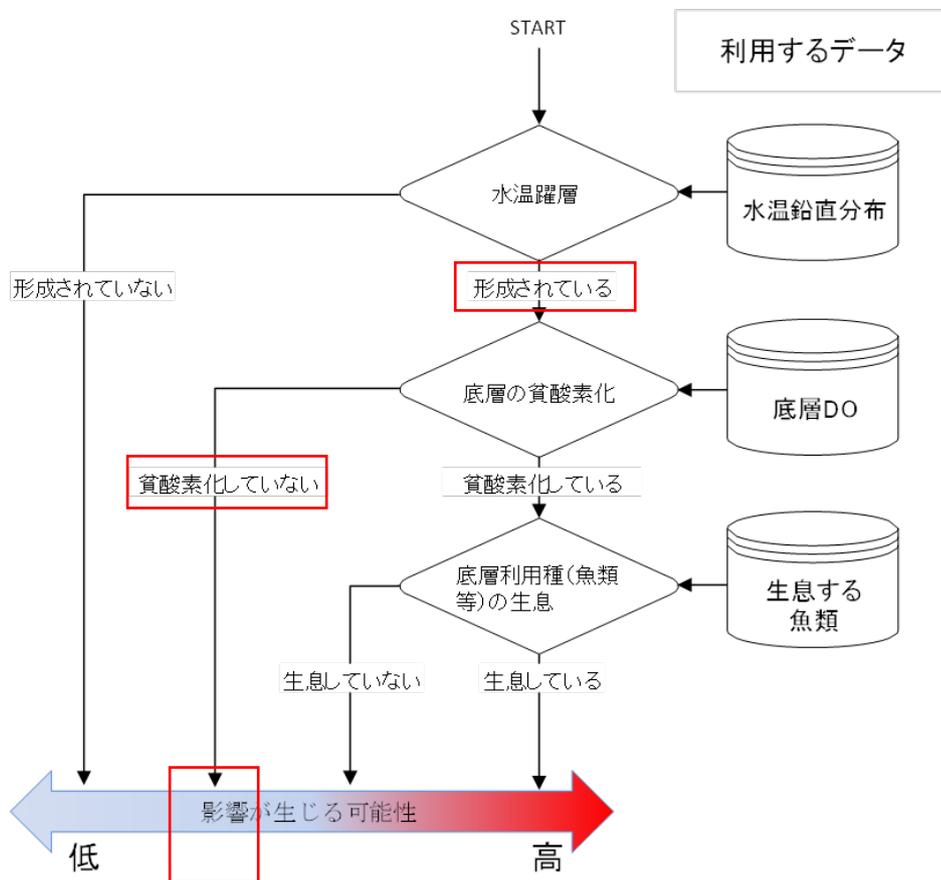
## (1) 気候変動による影響の検討と評価

### 1) 冬季全循環不全による底層水の貧酸素化による魚類等の底層利用種への影響

図 1.2-10 のフローに従い、収集・整理したデータ・資料を踏まえて、十和田湖における気候変動影響の可能性について整理する。

ここで、「冬季全循環不全による底層水の貧酸素化」が現状で生じているかを判断するために、水温と DO の観測値を用いる。特に、夏季の水温が上昇する時、水温成層が生じると底層が貧酸素化になりやすいことから、そのような変化が生じているかどうかを確認する。

水温と DO のデータは、各自治体を実施している調査結果から得ることができ、十和田湖においては、十和田湖環境保全会議による調査結果データを使用した。



※赤枠: 十和田湖の検討結果

図 1.2-10 冬季全循環不全による底層水の貧酸素化、底層魚類の生息への影響の検討フロー

### A) 水温成層の形成状況

十和田湖の湖心において、2008～2019年の水温鉛直分布を図 1.2-11 に示す。5月に全循環が発生し、9月に水温成層ができており、経年変化は見られなかった。

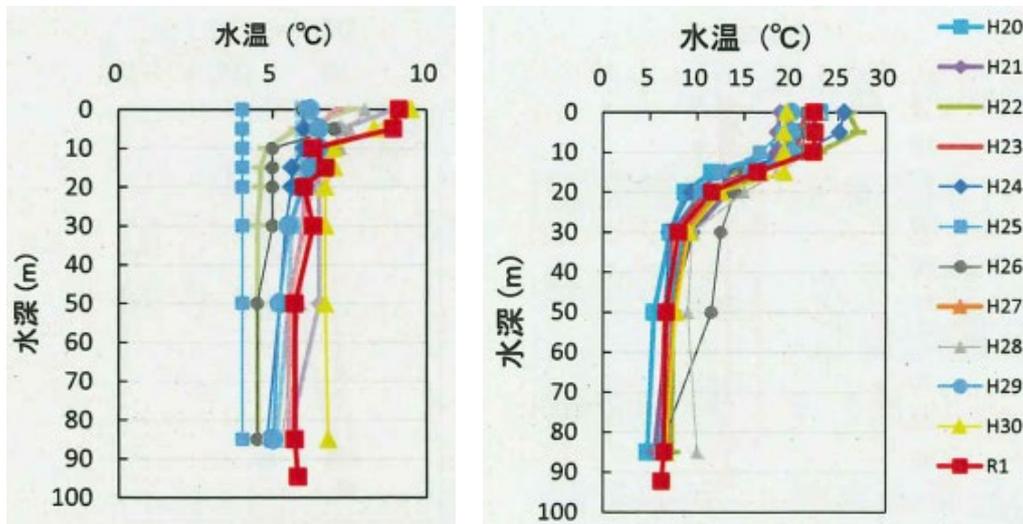


図 1.2-11 十和田湖における水温成層(左:5月、右:9月)

### B) 底層 DO(溶存酸素)の状況

十和田湖の湖心において、2008～2019年の DO 鉛直分布を図 1.2-12 に示す。経年変化は見られず、貧酸素化は生じていないことが分かった。

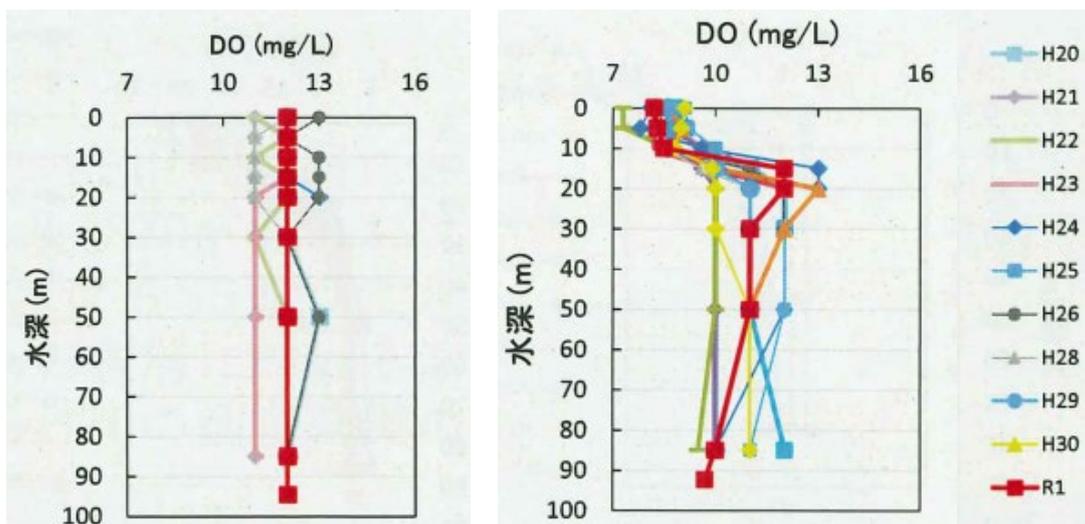


図 1.2-12 十和田湖における溶存酸素の鉛直分布(左:5月、右:9月)

※グラフ出典：令和元年度 十和田湖環境保全会議資料

⇒【影響評価】水温成層は生じているが、底層の貧酸素化は生じていないことから、気候変動により冬季全循環不全から底生魚類の生息への影響が生じる可能性は低い。

### C) 底生魚類の生息

十和田湖においてはヒメマスなどが生息している。

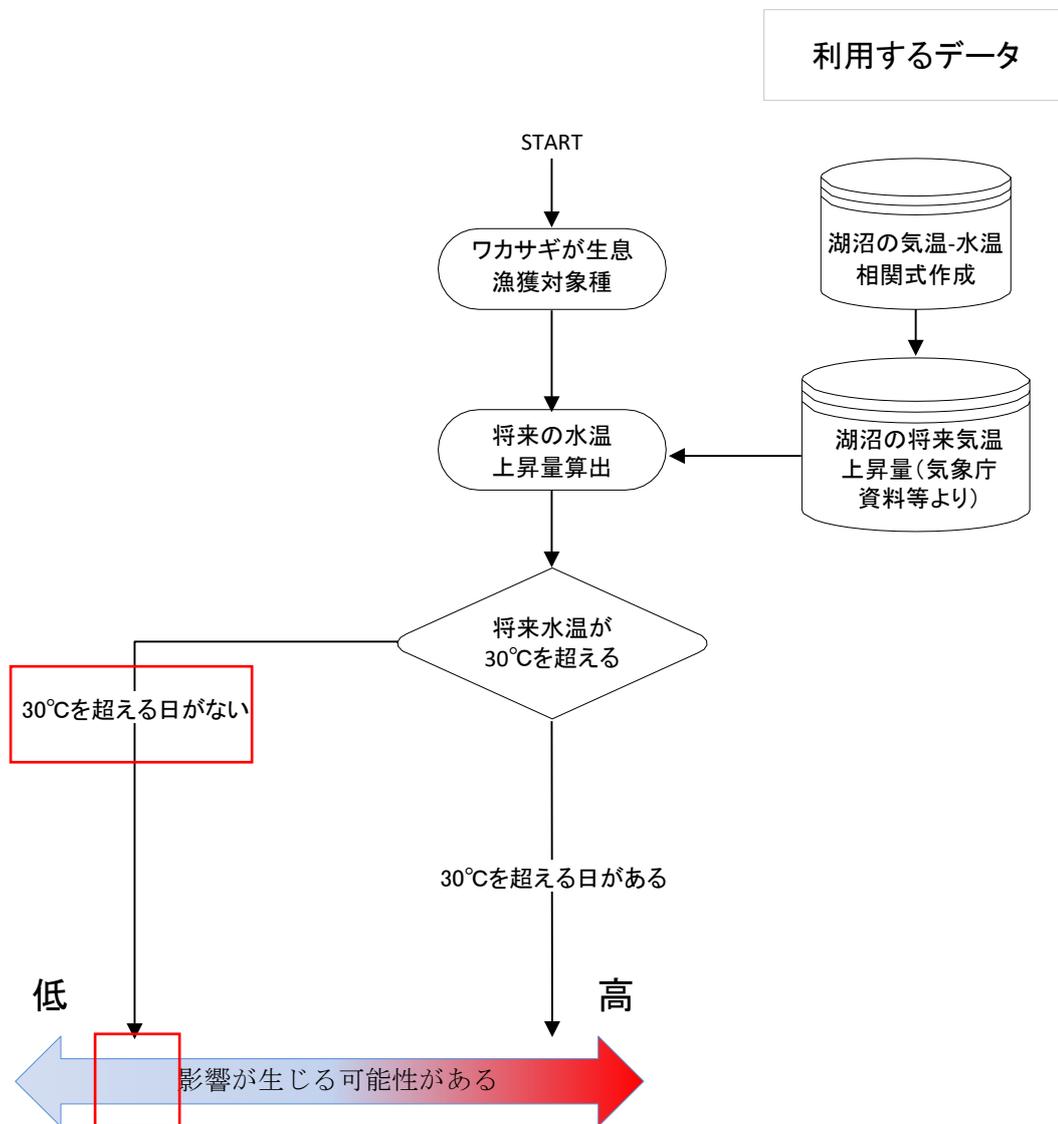
⇒【影響評価】現在、底層の貧酸素が生じていないことにより魚類の生息への影響が生じる可能性は低いが、仮に将来、貧酸素が生じた場合においても、ヒメマス等の魚類は鉛直移動ができるため、生息に影響が生じる可能性は低いと考えられる。

## 2) 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響

水温上昇による冷水性魚類への影響については、図 1.2-13 のフローに従い、十和田湖における気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響を検討する。

十和田湖には、ヒメマスやワカサギ等の冷水魚が生息しているが、本資料では、手引きで示したワカサギを例にして影響評価を行い、影響が生じる可能性の有無を検討する。ワカサギでは、成魚の生息適水温の範囲が 0~30℃であることが既往文献から分かっているため、将来の水温が 30℃を超えるかどうかで、ワカサギの生息への影響を評価する。

なお、ワカサギ以外の種については、魚種によって水温変化の適性や高水温への耐性が異なるため、検討対象とする魚種の生態的知見を収集し、その種の生息適水温を把握できれば、同様な検討を行うことが可能である。



※赤枠：十和田湖の検討結果

図 1.2-13 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響の検討フロー  
(影響評価の対象魚種をワカサギとした場合)

### A) 将来の水温上昇量算出

十和田湖における将来の水温上昇量の算出結果を図 1.2-14 に示す。将来の気温上昇量 4.5℃に対して、既往と水溫の相関式より、将来の水溫は最高に 27.2℃になる可能性がある。そのため、ワカサギの生活が可能である最高水溫としての 30℃を将来超える可能性は低いと考えられる。

⇒【影響評価】気温上昇に伴う水溫上昇による冷水性魚類（ワカサギ）への影響が生じる可能性が低いと考えられる。

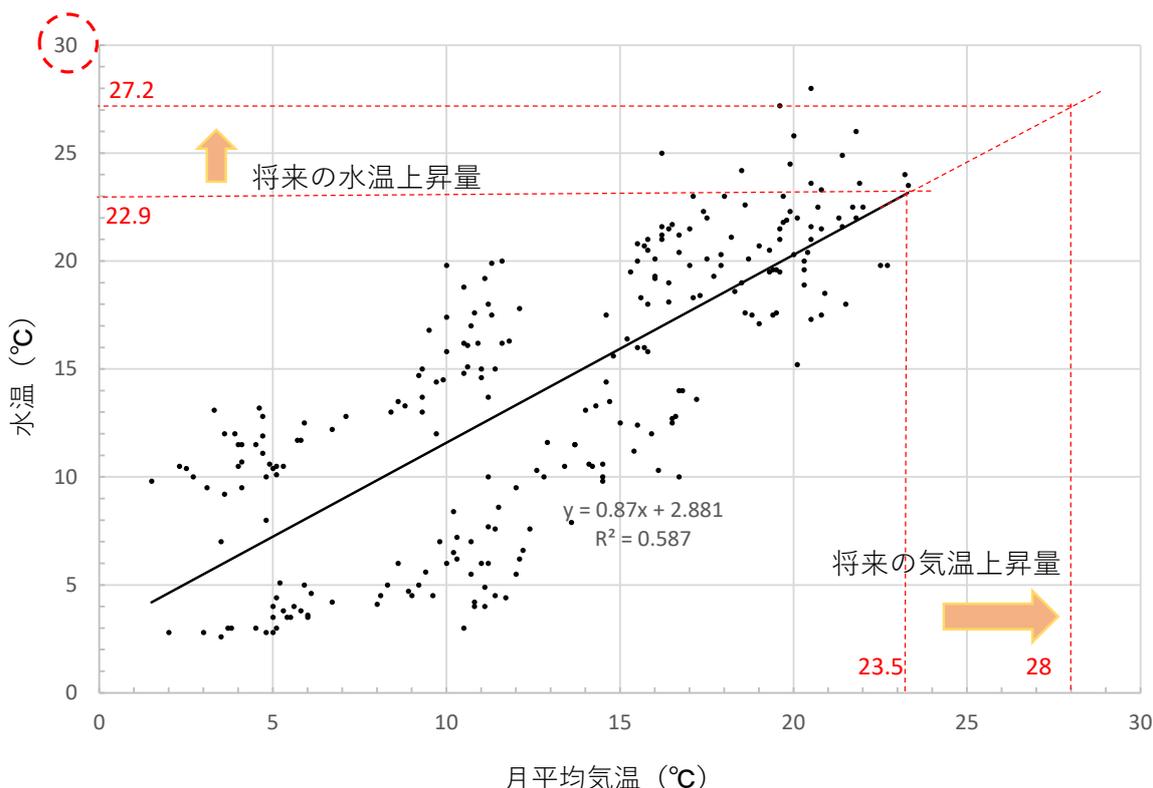


図 1.2-14 将来の水溫上昇量の算出

表 1.2-2 全国及び地域別の平均気温の変化

地域	年	春	夏	地域	秋	冬
全国	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	4.2 ± 0.5	全国	4.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9
北日本日本海側	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本日本海側	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.1
北日本太平洋側	4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本太平洋側	5.0 ± 0.8	5.5 ± 1.1
東日本日本海側	4.5 ± 0.6	4.1 ± 0.9	4.3 ± 0.6	東日本日本海側	4.7 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6	東日本太平洋側	4.5 ± 0.8	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.7 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本日本海側	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.9
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本太平洋側	4.3 ± 0.8	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.4	沖縄・奄美	3.5 ± 0.6	3.6 ± 0.8

出典：気象庁 地球温暖化予測情報 第9巻 (2017年)

## (2) 影響評価を踏まえた適応策の検討

### 1) 既存計画および対策

十和田湖の水質改善及びヒメマス資源量の回復のための具体的な方策を示すために、平成13年8月に「十和田湖水質・生態系改善行動指針」を策定した。

以降、指針に基づき、青森県及び秋田県の行政・試験研究機関・事業者・周辺住民が、水質の改善とヒメマス資源量の回復に向けた取り組みを進めてきたが、指針策定後10数年が経過したことから、これまでの調査研究で得られた新たな知見等も踏まえ、指針の内容を見直すこととした。

これを受け、平成25年9月に「十和田湖水質保全検討会」を設置し、有識者による検討を重ね、平成27年3月に「十和田湖水質・生態系改善行動指針」を改定した。

「十和田湖水質・生態系改善行動指針」では、関係者が様々な活動を行う際に、十和田湖の環境に配慮して取り組むべき内容を表1.2-3の4つの大項目と12の中項目に分類している。また、これらの項目に対応したモニタリングを随時実施している。

表 1.2-3 取り組みの内容

大項目	中項目
(1) 汚濁負荷量の削減	① 下水道接続率の向上 ② 発電用逆送水に流入する汚濁負荷量等監視 ③ 流入河川の汚濁負荷監視及び対策の検討 ④ 湖岸の周辺環境の整備、清掃
(2) 水産資源の管理	① ヒメマス資源の適正管理 ② ヒメマス以外の水生生物（ワカサギ、サクラマス、エビ類など）の総合的管理 ③ 特定外来生物等の侵入抑制
(3) 沿岸域の保全と管理	① 水生植物の保全 ② 湖内水位変動への配慮
(4) 環境保全意識の向上	① 研修等 ② 情報提供 ③ 十和田湖環境保全会議の開催

(H27年3月、十和田湖水質・生態系改善行動指針)

## 1.3 伊豆沼(宮城県)

### 1.3.1 湖沼・流域の特徴等の収集

伊豆沼は、宮城県北部の平野にある自然湖沼である。沼の周辺には広大な水田が広がっており、沼の水が水源として利用されるとともに、洪水調整の役割も果たしている。水深が浅いため、沼の中央部まで水生植物が繁茂しており、水生昆虫や魚類、鳥類など多種多様な生き物が生息している。秋から冬に極東ロシアから渡ってくるガンやカモ、ハクチョウ類の貴重な越冬場所であることから、ラムサール条約の登録湿地として国内で 2 番目に指定された。

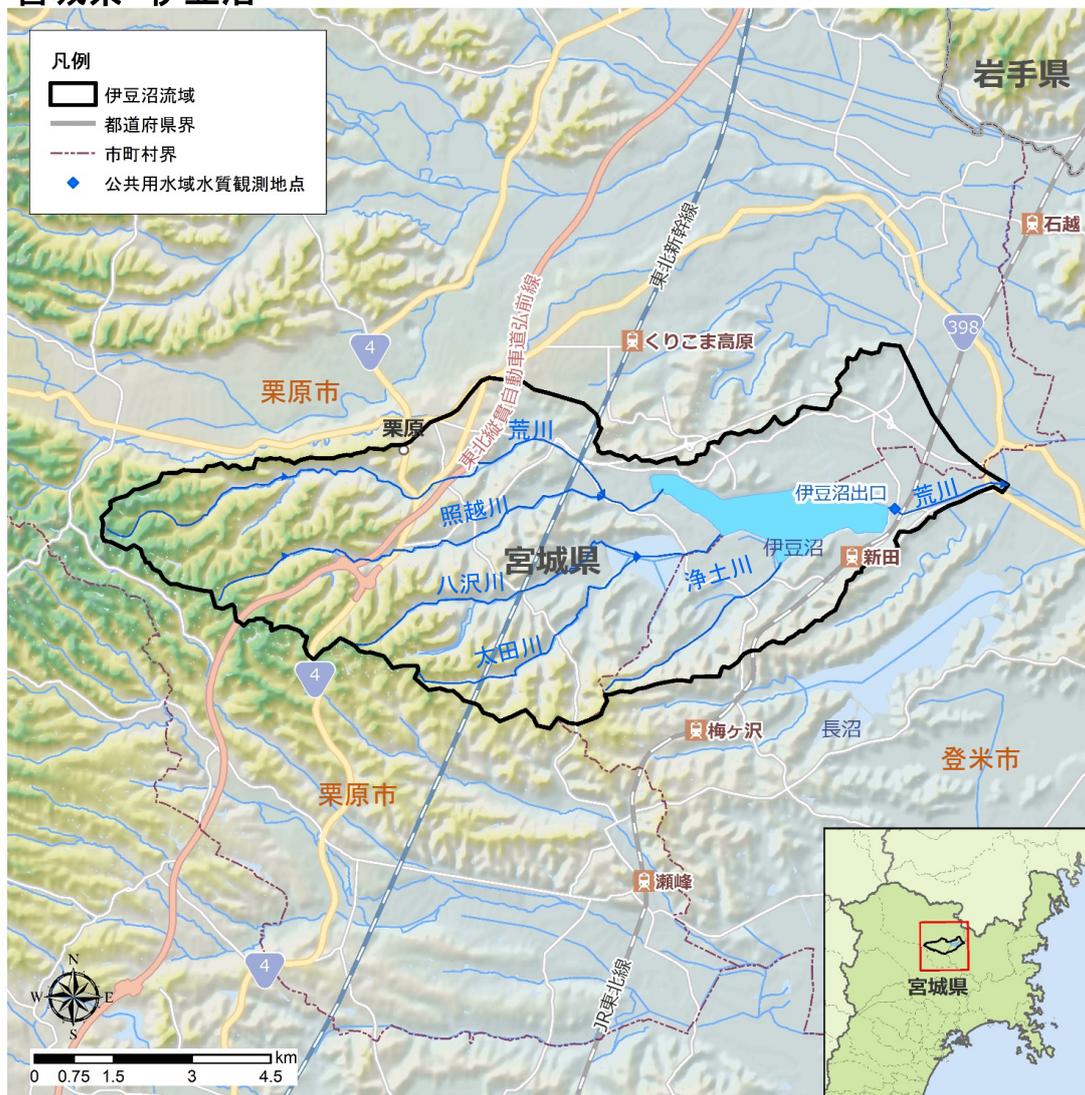
次ページに、湖沼・流域の地形、諸元等を示す。

また、関連資料収集および自治体ヒアリング結果から、主な特徴を以下に整理した。

#### (1) 地形的特徴

- ・ 迫川の支流である荒川（一級河川）の流域に属す。
- ・ 湖面積は 3.69 km<sup>2</sup>、最大水深は 1.6m と浅い。
- ・ 伊豆沼の周辺地は水田であり、伊豆沼はかんがい用水の水源として利用され、また同時に洪水を調節する役割を担っている。

## 宮城県 伊豆沼



### 【諸元】

標高	5m
湖面積	3.69 km <sup>2</sup>
最大水深	1.6m
湖容積	279.2万 m <sup>3</sup>
流域面積	14.23km <sup>2</sup>
流域人口 (R1)	登米市77,795人 栗原市65,313人
下水道普及率 (H29)	登米市45.0% 栗原市44.7%

### 【環境基準】

項目	類型	基準値	令和元年度 水質状況 (単位：mg/L)
			伊豆沼出口
COD	湖沼・B	5.0mg/L以下	19
T-N	-	0.2mg/L以下	1.4
T-P	-	0.01mg/L以下	0.21

備考：基準値の評価方法  
 COD：各基準点における全層平均の年間75%値。  
 T-N、T-P：各基準点における表層の年間平均値。

#### 〈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

#### 〈データ出典〉

- ・令和元年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果(宮城県)
- ・伊豆沼・内自然再生全体 第2期 令和2年3月(伊豆沼・内自然再生協議会)
- ・登米市ホームページ、栗原市ホームページ(人口、下水道普及率)

## 1) 自然的特徴

- ・ 伊豆沼はラムサール条約湿地として登録されており、また天然記念物としての指定もなされている。
- ・ ラムサール条約湿地に登録される等保全の機運が高まり、「沼には手を付けない、手を付けてはいけない」といった誤解が生じたこと、また、時代とともに地域住民の生活様式が変わり、人と沼との関わり方も変化したことから、かつて行われていた漁業やヨシ刈りなど沼の利用機会が減少した。
- ・ 伊豆沼は冬鳥、渡り鳥にとって大事な湿地という位置づけもある。
- ・ 伊豆沼に生息する魚類や水生植物、昆虫類など、在来生物の多様性の劣化がみられる。
- ・ 湖面をハスが大規模に覆う状況となっている。覆い尽くすので、他の植物等が生息しにくいということもある。また、ハスが枯れた後、そのまま沼底に蓄積し、それがヘドロ化している。水深も徐々に浅くなってきている。
- ・ 伊豆沼の COD 値が高いのは、そのヘドロによる影響が大きいと考えている。
- ・ 流域では下水道の整備が進んでおり、流入河川の水質は環境基準を満足しており、汚れているとは言い難く、ハスの枯死体が蓄積してヘドロ化したことの影響は大きいと思う。
- ・ 伊豆沼ではアオコが発生したというのは聞いたことがない。
- ・ 伊豆沼では大きな出水が生じると水、底泥がフラッシュされる。そのため、次の年にはハスの繁茂が減ることもあった。最近では、沼水位が低下して、白鳥がハスの種子を食べてしまい、そのエリアで次の年にハスが繁茂しなかったということがあった。
- ・ 事業として、ハスの刈り払いを行っている。この刈り払いによる効果を確認するために、大規模に刈り払いを実施している。
- ・ 沼の一部に水生植物園を整備している。シードバンク（埋土種子）から現在は見られなくなった在来種の発芽も確認されている。

## 2) 利用状況

### A) 利水

- ・ 伊豆沼の水はかんがい用水として周辺水田に利用している。沼水位は、かんがい期に高く、非かんがい期に低くする管理を行っている。また、伊豆沼は北上川水系迫川の支流で、河川区域であり、河川管理者は県であるが、沼水位の管理は地元市（登米市）、水門や取水の日々の操作は、地元の土地改良区が行っている。

## B) 漁業

- ・ 伊豆沼には漁業権が設定され、漁協もあるが、漁業を生業としている漁業従事者は、今はほとんどいない。イベントなどで漁協の船を出すということはある。

## C) 観光・湖面利用

- ・ 伊豆沼ではハスが大規模に繁茂し、それが観光名所にもなっている。地元の方々が「ハス祭り」を開催している。その際に、遊覧船等を出している。
- ・ また、冬の渡り鳥の飛び立ちやねぐら入りも伊豆沼を代表する光景となっている。

### 3) 水理・水質、気象データの収集

#### A) 経年変化

気象について、長期的な変化を図 1.3-1 に整理した。2010 年代は、1980 年代と比較すると、気温と年降水量に増加傾向が見られる。

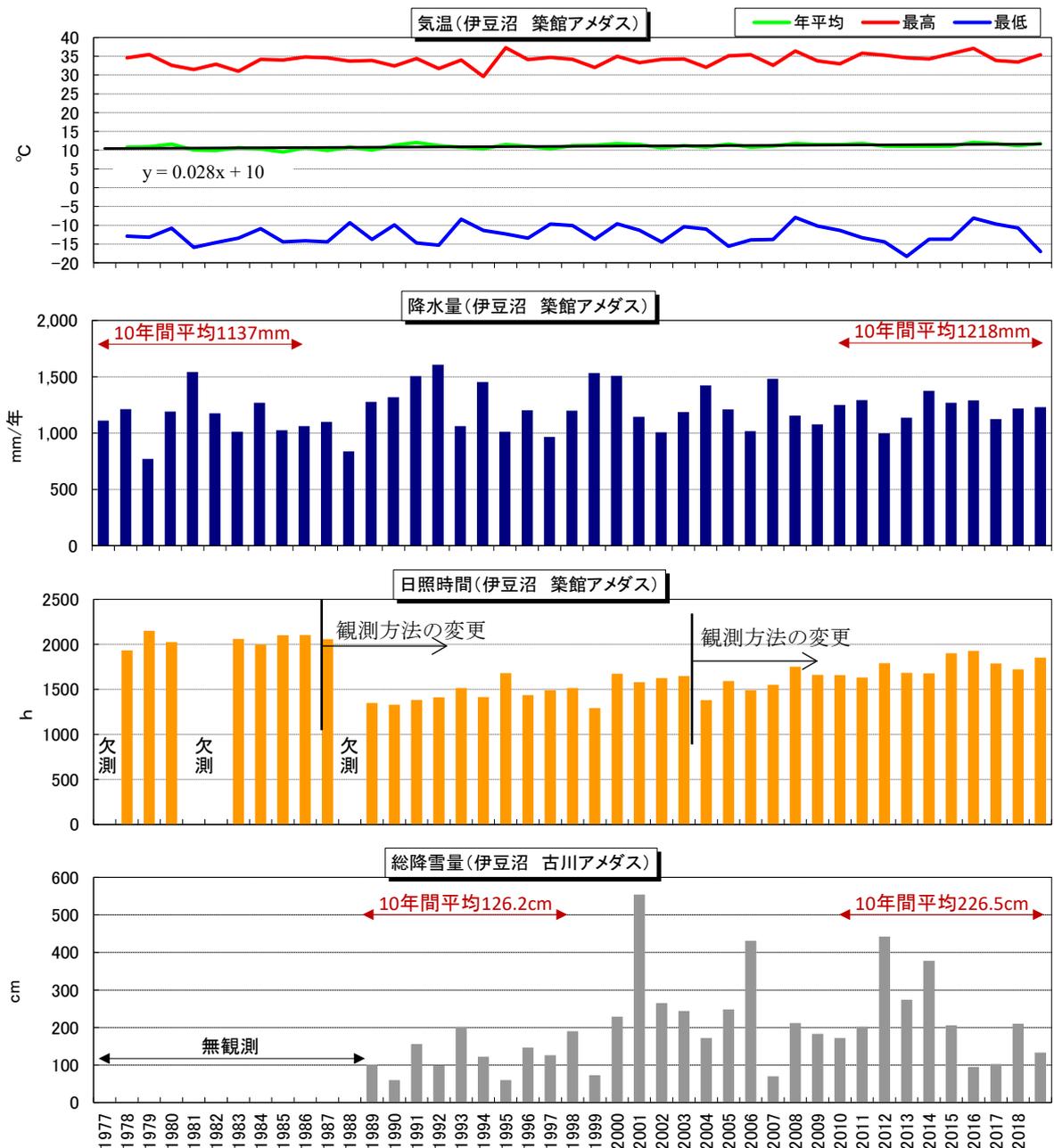


図 1.3-1 気象の経年変化(気象庁アメダス: 築館・古川)

## B) 気温(真夏日・真冬日)

夏季の植物プランクトン増殖や、冬季の湖面結氷に影響すると考えられる、真夏日・真冬日の発生日数について図 1.3-2 に整理した。2010年代は、1980年代と比較すると、真夏日の日数が2倍近くになり、真冬日の日数は半分以下となっている。

※真夏日：最高気温が30℃以上の日      真冬日：最高気温が0℃未満の日

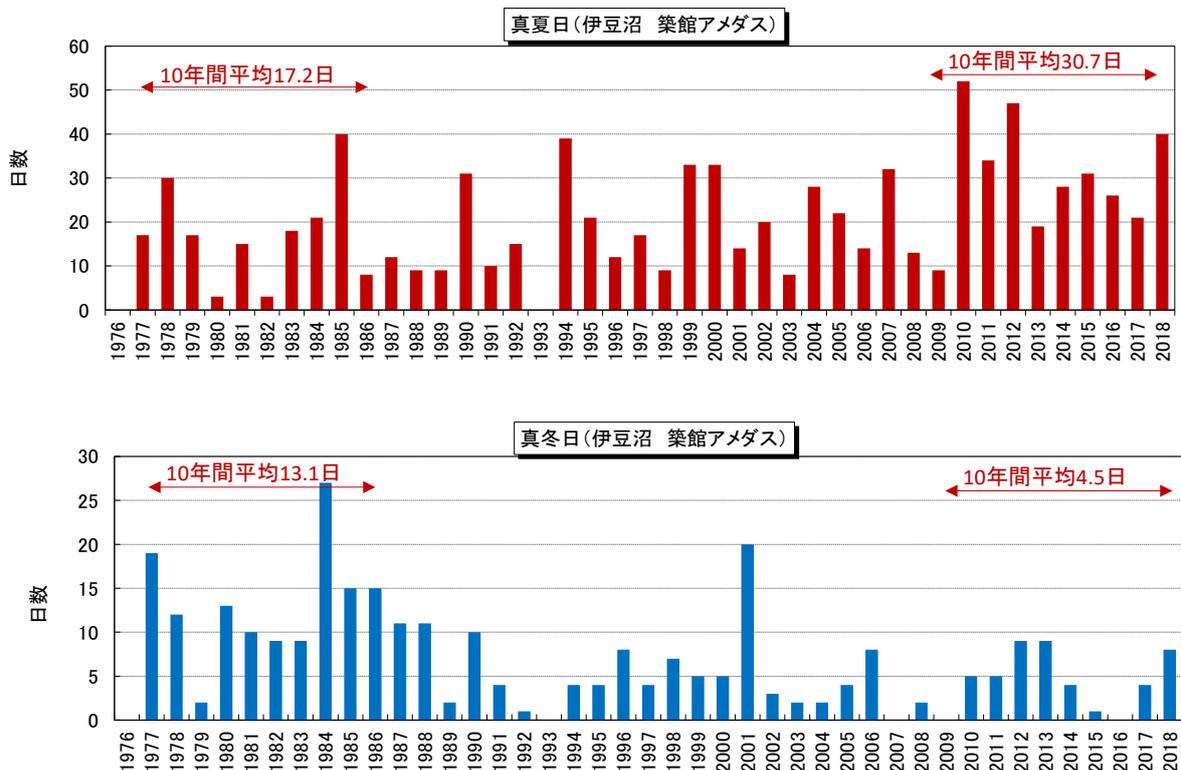


図 1.3-2 真夏日、真冬日の経年変化(気象庁アメダス:築館)

## C) 降水量(100mm/日超える日数)

日降水量が100mmを超える日数について図 1.3-3 に整理した。この地域での発生は少なく、最近での明らかな変化傾向は見られない。

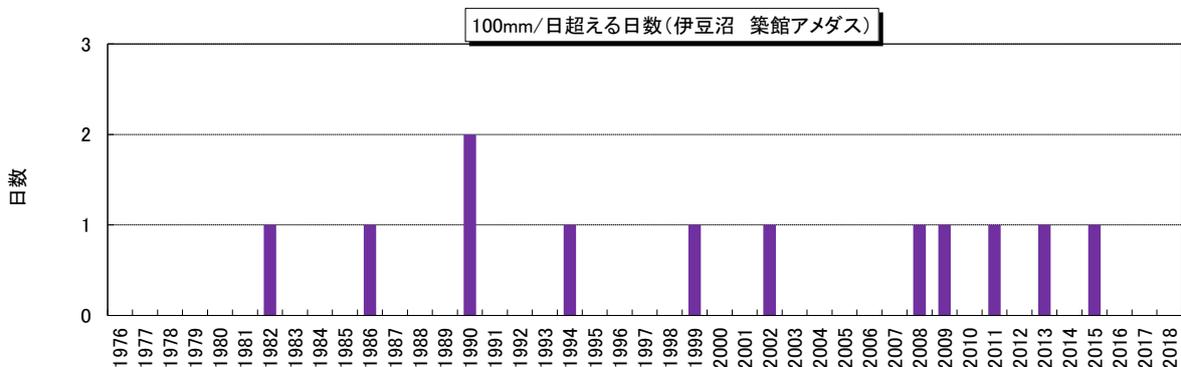


図 1.3-3 降水量が100mm/日超える日数の経年変化(気象庁アメダス:築館)

## (2) 将来の気象予測データの収集

伊豆沼における将来の気象がどのように変化するかについて具体的に把握するために、公表資料である、気象庁仙台管区气象台が作成した、「東北地方の地球温暖化予測情報 IPCC の RCP8.5 シナリオを用いた地域気候モデルによる今世紀末のシミュレーション結果」（宮城県）を参考に整理した。

この資料では、「地球温暖化予測情報 第9巻：RCP8.5」の計算結果に基づき整理されている。この資料から、伊豆沼の気候変動影響に関連するとして、伊豆沼が位置する宮城県における気温、降水量の情報を抽出した。

### 1) 気温

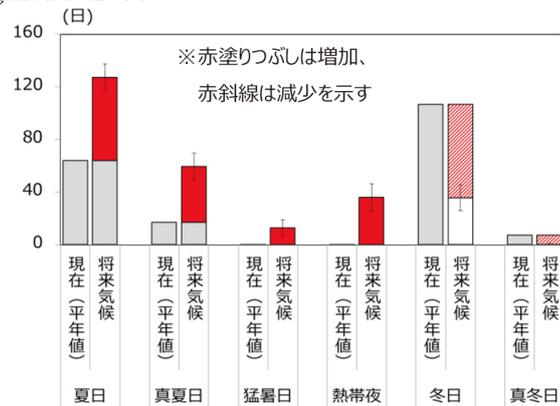
将来気候（21世紀末）では夏（6-8月）に平均気温が4.3度の上昇、真夏日も平均的に43日増加する。また、冬（12-2月）に平均気温が5.3度の上昇、真冬日も現在より6日減少しほとんどみられなくなる。

	年	春	夏	秋	冬
平均気温	4.6±0.7	4.0±0.9	4.3±0.8	4.7±0.8	5.3±1.1
日最高気温	4.5±0.6	4.0±0.9	4.2±0.8	4.5±0.7	5.2±1.1
日最低気温	4.7±0.7	4.0±0.9	4.3±0.7	5.0±0.9	5.6±1.0

夏日	真夏日	猛暑日	熱帯夜	冬日	真冬日
63.5±10.1	42.8±10.1	12.3±6.1	35.7±10.5	-71.1±9.9	-6.4±0.4

図 1.3-4 及び付表 宮城県平均の気温に関する変化量（単位：℃または日）

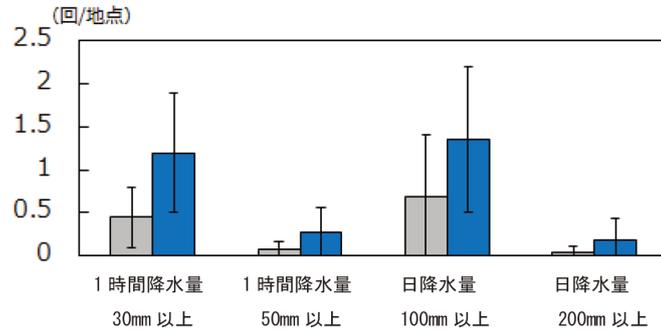
図の赤棒グラフは将来気候の値から現在気候の値を引いたもの。細線は現在気候、将来気候それぞれにおける年々変動の標準偏差。付表はそれらの各数値を「将来変化量±将来気候の標準偏差」で示し、信頼度水準90%で統計的に有意とならない場合は灰色に塗りつぶしている。また、有意で且つ変化量の絶対値が現在気候の年々変動の標準偏差より大きい場合はプラス（マイナス）偏差をオレンジ色（水色）に塗りつぶしている。ただし、「冬日」と「真冬日」についてはプラス（マイナス）偏差を水色（オレンジ色）に塗りつぶしている。RCP8.5シナリオによるNHRCM05を用いた予測結果に基づく。



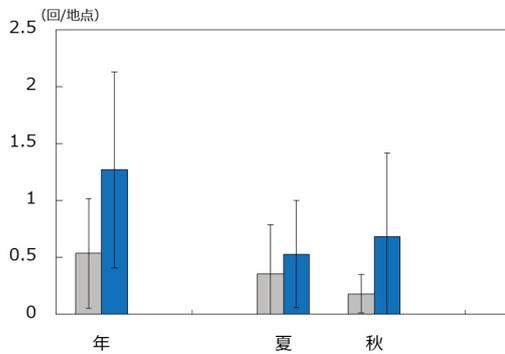
(d) 日最高気温25℃以上（夏日）、日最高気温30℃以上（真夏日）、日最高気温35℃以上（猛暑日）、日最低気温25℃以上（熱帯夜）、日最低気温0℃未満（冬日）、日最高気温0℃未満（真冬日）の年間日数の将来変化。赤色の棒グラフは20世紀末平均と比べた21世紀末平均の変化量、灰色の棒グラフは平年値（1981～2010年平均）。

## 2) 降水量

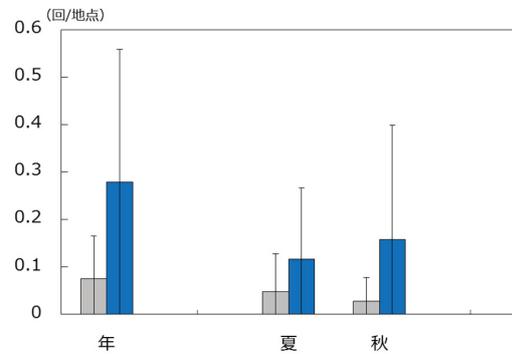
日降水量 100mm 以上の発生確率が現在の約 2 倍に増加すると整理されている。



(c) 短時間強雨（1時間降水量30mm以上、1時間降水量50mm以上）と大雨（日降水量100mm以上、日降水量200mm以上）の年間発生回数の変化



(d) 1時間降水量30mm以上の年・季節別発生回数の変化



(e) 1時間降水量50mm以上の年・季節別発生回数の変化

	年	春	夏	秋	冬
降水量	-28.9±256.4				
日降水量 1mm未満回数	5.7±8.2	1.9±4.3	3.8±5.1		-1.2±3.4
1時間降水量 30mm以上回数	0.7±0.7		0.2±0.5	0.5±0.7	
1時間降水量 50mm以上回数	0.2±0.3		0.1±0.2	0.1±0.2	
日降水量 100mm以上回数	0.7±0.8				
日降水量 200mm以上回数	0.2±0.3				

図 1.3-5 及び付表 宮城県平均の降水量に関する変化（単位：mmまたは回）

(a)、(b) における棒グラフは将来気候の値から現在気候の値を引いたもの。(c)～(e) における棒グラフは現在気候（灰）と将来気候（青）における1地点あたりの発生回数。細線は現在気候、将来気候それぞれにおける年々変動の標準偏差。付表はそれらの各数値を「将来変化量±将来気候の標準偏差」で示し、信頼度水準90%で統計的に有意とならない場合は灰色に塗りつぶしている。また、有意で且つ変化量の絶対値が現在気候の年々変動の標準偏差より大きい場合はプラス（マイナス）偏差を水色（オレンジ色）に塗りつぶしている。ただし、「日降水量1mm未満」についてはプラス（マイナス）偏差をオレンジ色（水色）に塗りつぶしている。季節別の降水量及び大雨発生回数（日降水量100mm以上、日降水量200mm以上）は、はっきりとした傾向が見られない等により、値を表示しない。日降水量1mm未満回数の秋及び短時間強雨（1時間降水量30mm以上、1時間降水量50mm以上）の春と冬の発生回数の変化は、はっきりとした傾向が見られない、または事例数が少ない等により、値を表示しない。RCP8.5シナリオによるNHRCM05を用いた予測結果に基づく。

### 3) 年降水量

#### 年降水量

##### 年降水量

- ・ 有意な変化は見られない。  
(東北南部では有意な減少が見られる)

##### 日降水量1mm未満の発生回数（無降水日数）

- ・ 年と春、夏は有意な増加が見られ、雨の降る日が減少する可能性があることを示している。なお、秋は異なる4メンバーによるそれぞれの結果が示す傾向が一致しない等により信頼度が低いと考えられるため、ここでは値を示さないこととする。

(東北太平洋側、東北南部では秋も有意な増加が見られる)

##### 1時間降水量30mm以上の年・季節別発生回数

- ・ 年と夏、秋で有意な増加が見られ、1地点あたりの平均で将来気候では現在気候の2倍程度の頻度となり、激しい雨がほぼ毎年発生することを示している。

##### 1時間降水量50mm以上の年・季節別発生回数

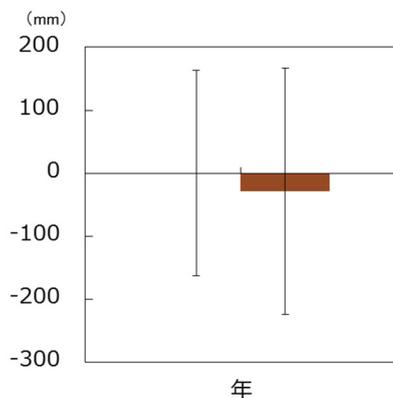
- ・ 年で現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、また夏と秋に有意な増加が見られる。1地点あたりの平均で現在気候では稀にしか発生しない非常に激しい雨が、将来気候では数年おきに発生することを示している。

##### 日降水量100mm以上の年間発生回数

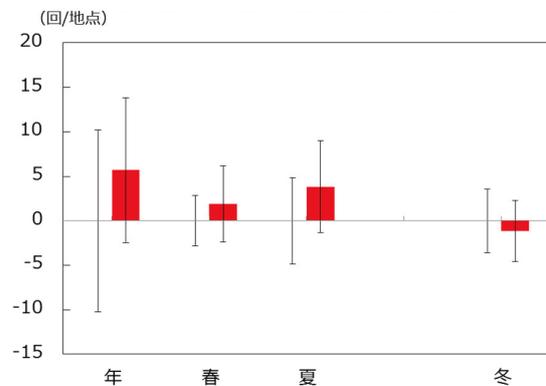
- ・ 有意な増加が見られ、1地点あたりの平均で将来気候では現在気候の2倍程度の頻度となり、日降水量100mm以上の大雨がほぼ毎年発生することを示している。

##### 日降水量200mm以上の年間発生回数

- ・ 現在気候の年々変動の標準偏差を超える大きな増加が見られ、現在気候においてほとんど発生しないような大雨が、将来気候では1地点あたりの平均で10年に1、2回程度発生することを示している。



(a) 年降水量の変化量



(b) 日降水量1mm未満の回数（無降水日数）の年・季節別の変化量

#### 4) 年最深積雪深

年降雪量はいずれの地域においても、将来変化量が現在気候の年々変動の幅を超える大きな減少となっている。

東北地方全体では、将来気候の年降雪量は現在気候より 73%程度の減少となっており、地域別に見てみると、東北太平洋側で減少率が最も大きく、80%程度の減少となっている。一方、東北日本海側で減少率が最も小さく、69%程度の減少となっている。降雪量の減少は、気温の上昇に伴って雪が雨として降るだけでなく、日本付近の大気の流れが変わることもその原因の一つと考えられる。ただし、地球温暖化が進行した状態でも、本州の内陸部ではたまに発生する極端な降雪の頻度が増大するという研究報告もある。

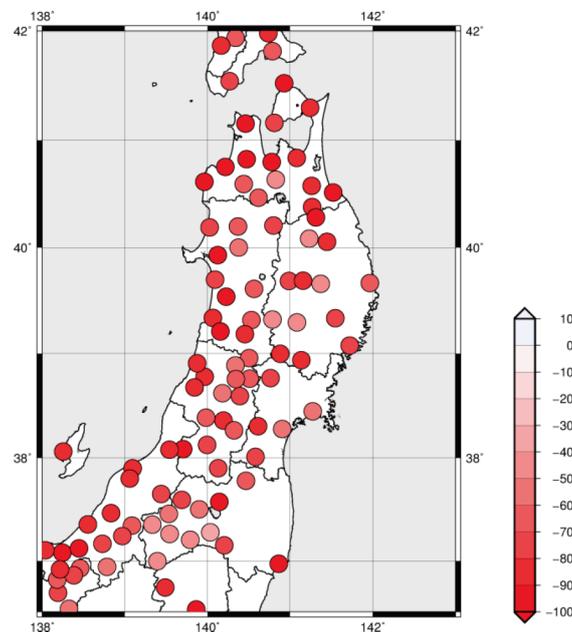


図 1.3-6 東北地方の年最深積雪の将来変化率(単位:%)  
年最深積雪の現在気候に対する将来気候と現在気候の差の比(バイアス補正済み)。変化傾向(増減)が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外)。気象庁によるIPCCのRCP8.5シナリオに基づくシミュレーション結果(気象庁, 2017a)をもとに作成。

### 1.3.2 気候変動影響の整理

#### (1) 長期的な伊豆沼の水質変化

伊豆沼における代表的な水質地点（伊豆沼出口）における 1984 年からの水質について、富栄養化・植物プランクトンの増殖に関連する、COD、T-N、T-P を図 1.3-7 に整理した。

伊豆沼において、COD について見ると、1980 年代から近年までに変動幅は大きくて、冬～春先に大きく上がる傾向がある。T-N、T-P は 1980 年代での変動幅は大きかったが、2010 年代以降になると、ピークが小さくなっている傾向が見られる。

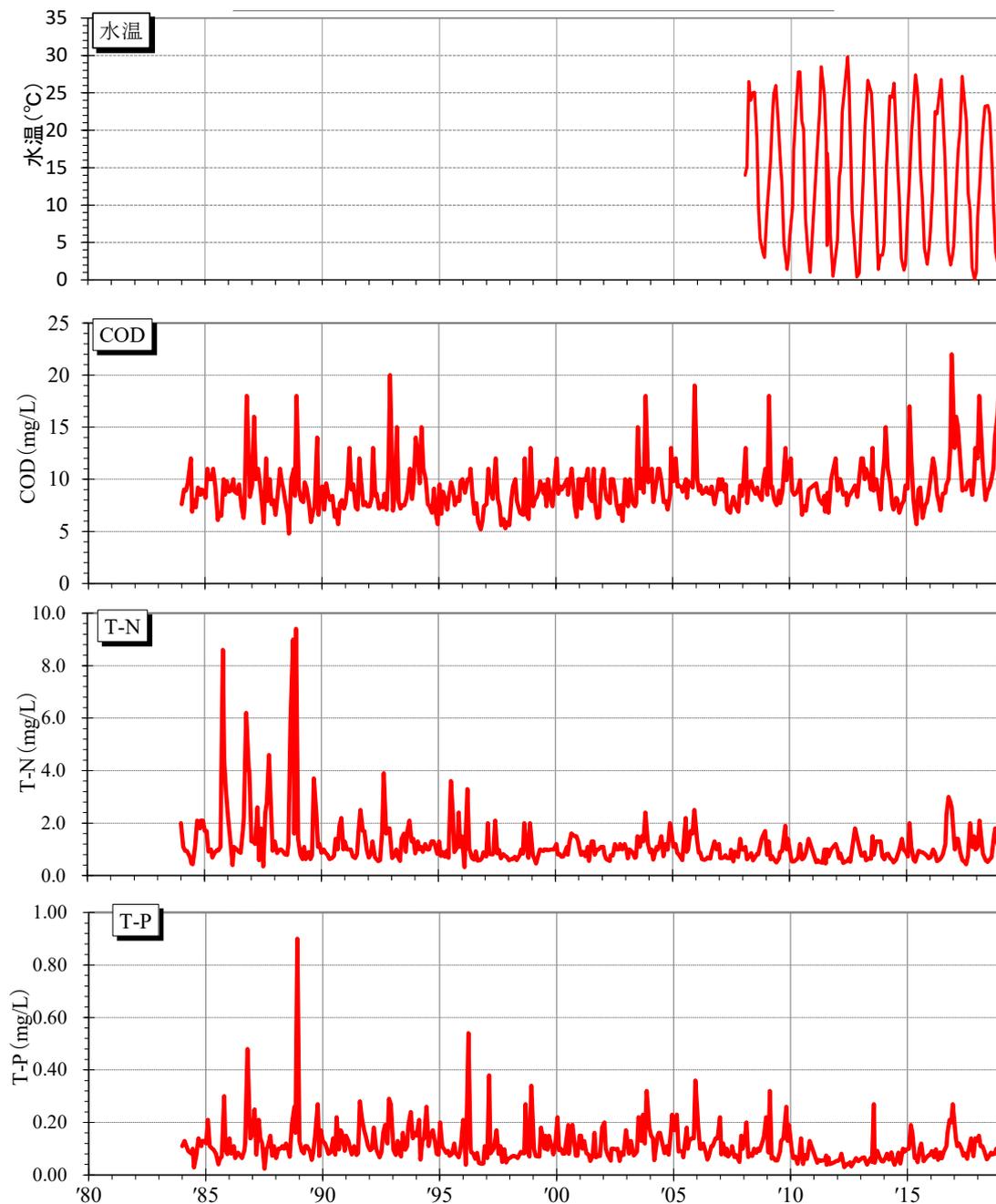


図 1.3-7 伊豆沼における水質の経年変化(伊豆沼出口)

※データ出典:環境省 公共用水域水質測定結果

### 1.3.3 影響評価の実施、適応策の検討

以上の伊豆沼における特性の整理結果を踏まえて、伊豆沼における気候変動による影響を想定すると、表 1.3-1 の項目が挙げられる。これらの影響のうち、手引きで示している植物プランクトンの増殖による利水への影響について、簡易的な手法により、検討を行った。

表 1.3-1 検討対象とする気候変動影響の選定(伊豆沼)

水環境の変化	水環境の変化 (影響を評価するための指標)		生活や地域社会への影響	情報・データ整理の結果を記入	
				湖沼の特徴	検討必要有無
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	底層利用種の漁獲量	冬季に全循環が発生	-
	②	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	(同上)	-
水温の上昇	③	冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	冷水性魚類の漁獲量、遊漁人口	漁業はほぼない	-
	④	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド、水生植物	かんがい用水の取水観光地である	○
	⑤	魚類等の生息水深の変化	漁法、漁獲量	漁業はほぼない	-
	⑥	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	かんがい用水の取水観光地である	○
湖面結氷の変化	⑦	湖面結氷の短期化	景観、湖面結氷や氷を利用したイベント等（地域資源）	冬季に結氷していない	-
融雪時期の流入量・栄養塩供給時期の変化	⑧	植物プランクトン発生時期、量の変化	漁獲量	融雪出水があるが、漁業はほぼない	-
	⑨	春先の栄養塩供給量の減少	漁獲量、漁業適期、利水（浄水処理）、景観、臭気	融雪出水がある観光地である	-
	⑩	春先の融雪水量の減少	(⑩と同じ)、利水（かんがい等）	(同上)	-
降雨強度の変化による出水時流入栄養塩量の増加	⑪	浮遊物質量の増加、透明度の変化	利水（浄水処理）、景観	かんがい用水の取水観光地である	○
	⑫	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁獲量	かんがい用水の取水観光地である	○
降水量の減少による平常時流量の減少		(⑫と同じ)	(⑫と同じ)	かんがい用水の取水観光地である	○

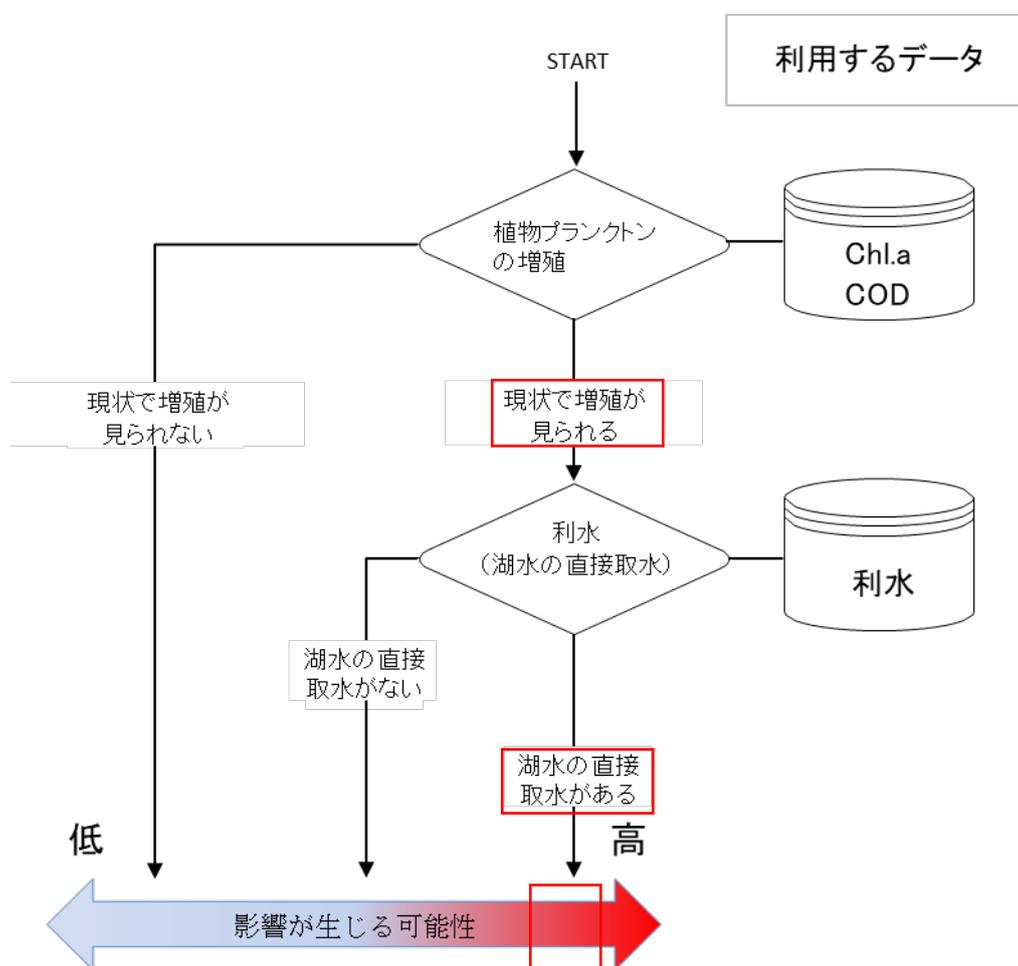
## (1) 気候変動による影響の検討と評価

### 1) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響

次のフローに従い、収集・整理したデータ・資料を踏まえて、伊豆沼における気候変動影響の可能性について図 1.3-8 に整理する。

ここで、「植物プランクトンの増殖」が現状で生じているかを判断するために、COD の観測値を用いる (Chl.a データがあれば、直接的な植物プランクトン量の指標であるため、それを用いることもよい)。植物プランクトンが増えると COD 濃度が上昇することから、そのような変化が生じているかどうかを確認する。

COD のデータは、公共用水域水質測定として各自治体が行っている調査結果から得ることができ、伊豆沼においては、宮城県による調査結果データを使用した。



※赤枠：伊豆沼の検討結果

図 1.3-8 植物プランクトンの増殖の影響の検討フロー

### A) 伊豆沼における COD(植物プランクトン増殖の有無)

伊豆沼における長期的な COD 濃度の変化は図 1.3-9 に示すとおりであり、ほぼ毎年、3 月に COD 濃度が上昇する傾向が見られている。これは風で底泥が巻き上がること等による影響であると考えられる。現地においても、アオコが発生したことがないと言われている。

クロロフィル a の長期変化は図 1.3-10 に示す通りであり、S60 年から H9 年にかけて漸減傾向がみられるが、H10 以降は変動を繰り返しながら漸増し、平成 10 年、平成 14 年の洪水・増水の翌年に値の急増がみられる。季節的には、夏季に低下し 3 月に高くなる傾向が認められる。

⇒【影響評価】植物プランクトンの増殖があると判断される。

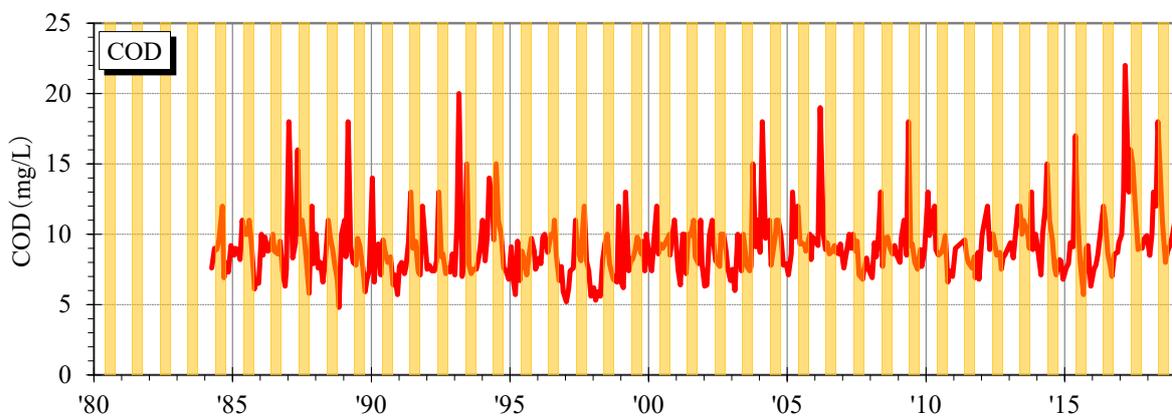
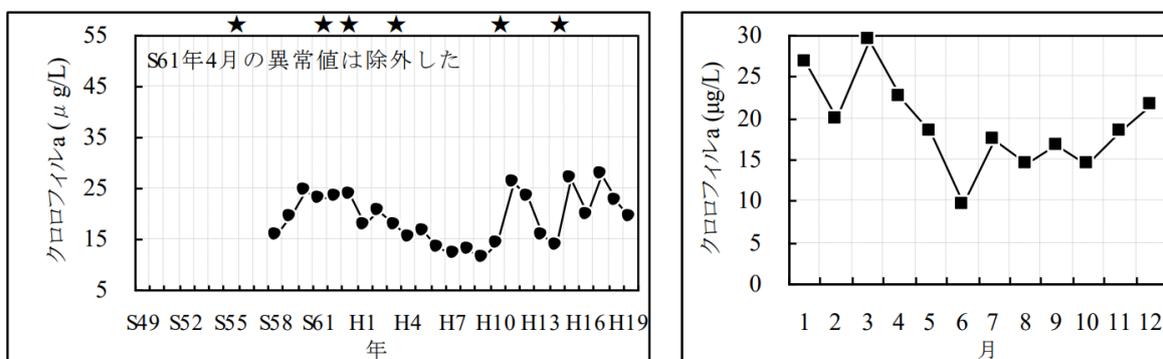


図 1.3-9 伊豆沼(伊豆沼出口)における COD(表層)の変化(網掛けの期間は夏季)



★は、夏季に規模の大きい洪水・増水が発生した年

図 1.3-10 伊豆沼(伊豆沼出口)におけるクロロフィル a の経年変化(左)と季節変化(右)

※出典：伊豆沼・内沼自然再生事業実施計画書 宮城県 H22

### B) 伊豆沼における利水の状況

自治体ヒアリング結果から、伊豆沼での直接的な水利用として、かんがい取水がある。

⇒【影響評価】かんがい用水での使用時に、植物プランクトンが増殖することによって、取水の水質が悪化し、水利用への影響が生じる可能性が考えられる。

## (2) 影響評価を踏まえた適応策の検討

### 1) 既存計画および対策

伊豆沼・内沼自然再生協議会が令和2年3月に策定した「伊豆沼・内沼自然再生全体構想第2期」は、伊豆沼・内沼の自然再生に当たり、「豊かな生物多様性と健全な水環境の回復を図り、人と自然が共生する伊豆沼・内沼を目指す」を目標としている。重点的に進める施策について表 1.3-2 に示す。

表 1.3-2 伊豆沼・内沼の自然再生のために重点的に進める施策の実施スケジュール  
出典:伊豆沼・内沼自然再生全体構想(第2期)

項目	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
(1)生態系の保全と再生										
1) 在来生物の増殖・復元										
① 希少種の増殖・移植	ゼニタナゴの移植・オオセズジイトンボの調査・保全									
② 沈水植物等の増殖・移植	植栽技術改良		エコトーン等への移植				モニタリング			
③ 二枚貝類の復元	増殖・移植試験		エコトーン等への移植				モニタリング			
2) エコトーン(移行帯)の創出										
① エコトーンの造成	設計・調整			施工			モニタリング			
② 抽水植物の復元	植栽技術改良		エコトーン等への移植				モニタリング			
3) オオクチバス等の防除										
① 沼内の外来魚等防除	防除活動の継続				低密度管理への移行					
② 流域ため池の外来魚等防除	防除活動の継続									
③ 低密度管理移行に向けた活動	防除結果分析			技術の普及啓発・情報発信						
4) 水生植物の適正管理										
① ハス・ヒン等の適正管理	刈取り・水質改善効果の分析									
② ヨシ・ヤナギ等の適正管理	刈取り・ゾーニング									
5) 流入・内部負荷抑制	負荷量分析→抑制策の検討・実施→事業効果の評価									
6) 水管理・土地利用の最適化	水管理等調整			ゾーニング						
(2) ワイズユースの推進										
1) 地域産業との連携	立ち上げ		連携の順応的な推進							
2) 環境学習の充実	土地利用の最適化と合わせた環境学習の充実									
(3) 施策の評価(モニタリング)										
1) 目標生物の生息状況	順応的管理の実施(生息状況の調査・分析・対策検討)									
2) 鳥類モニタリング										
① 増加種の飛来状況	増加メカニズムの分析→将来像の分析・提示									
② 減少種の飛来状況	回復状況の分析→伊豆沼方式の提唱									
③ 水鳥と人とが集う水辺づくり	鳥類分布調査		ゾーニング		利活用に向けた適正管理					

## 2) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響に対する適応策

植物プランクトン増殖につながる要因は、図 1.3-11 のような経路、要素がある。伊豆沼の特徴から、抑制すべき要因として、「水温上昇」「流入負荷量の増加」「水の滞留」「湖底堆積物」が該当し、これらへの対応が適応策として考えられる。

なお、利水について伊豆沼では取水はあるが、現状で浄水処理はされていないため、浄水処理の能力不足に対する適応策は選定しないこととする。

以上を踏まえて、伊豆沼において適用性が考えられる適応策オプションは次ページの表 1.3-3 の通りである。

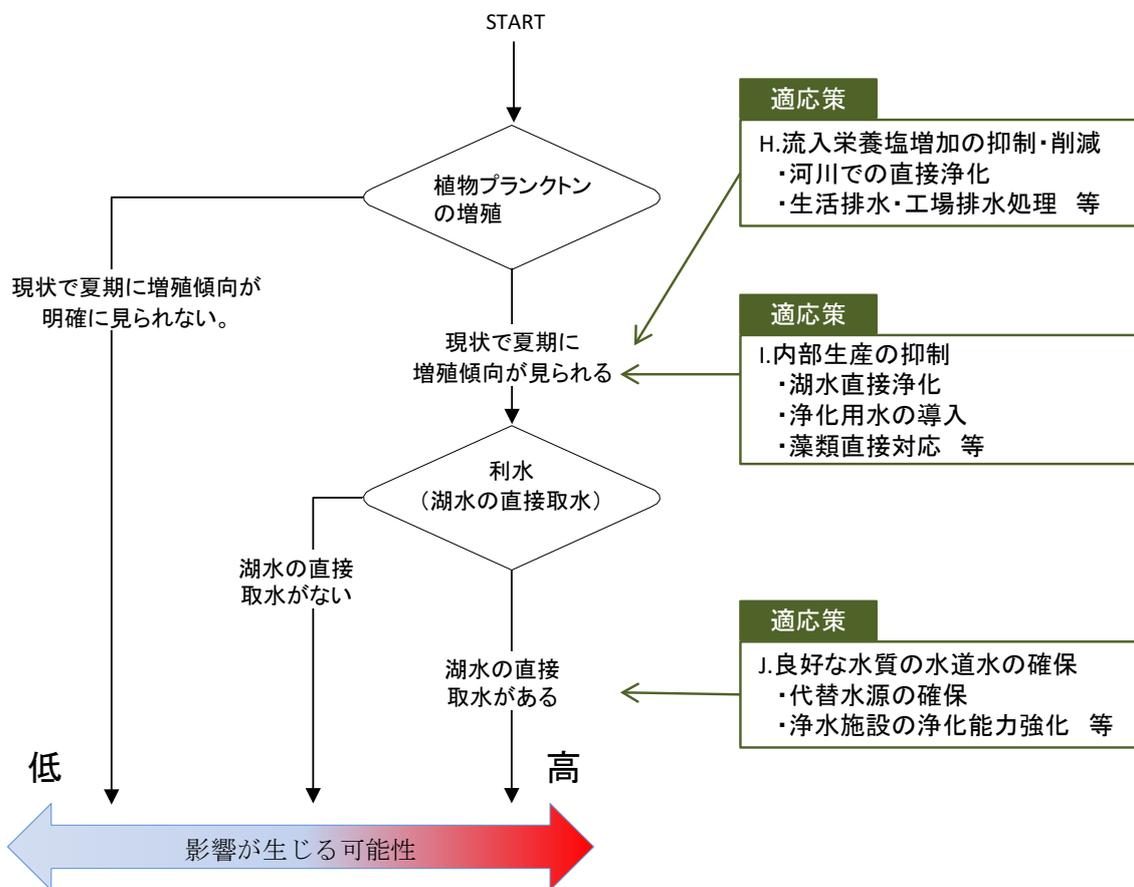


図 1.3-11 植物プランクトンの増殖による利水への影響に対する適応策の検討フロー

表 1.3-3 伊豆沼における植物プランクトン増殖と、利水影響に対する適応策の例

適応策の視点	適応策メニュー	既存対策の有無	既存対策の対応力	適応策の方向性
H. 流入栄養塩増加の抑制・削減	15 河川での直接浄化		負荷削減の強化が必要である。 また、湖底に溜まるヘドロへの対応が必要	既存対策の強化
	沈澱			
	ろ過、接触酸化			
	植生による浄化			
	底泥浚渫(継続的)			
	16 生活排水処理			
	下水道整備、下水処理場の高度化(窒素りん除去)	○		
合流式下水道の改善				
窒素りん除去型の高度処理型合併処理浄化槽設置				
17 環境保全型農業の実施(負荷低減)	○			
18 工場・事業場等、排水基準の強化				
19 市街地、道路等からの面源負荷削減(雨水流出抑制、路面・側溝清掃等)				
I. 内部生産の抑制	20 曝気等による水の流動促進			
	浅層曝気			
	全層曝気			
	流動促進装置による流動化			
	浄化用水の導入(流動化、希釈)			
	21 プランクトン増殖抑制を考慮した湖水の放流、水位管理			
	22 湖内での直接浄化			
	接触酸化			
	土壌浄化			
	植生浄化	○		
凝集処理				
23 水生植生帯の整備	○			
24 藻類の除去	衝撃殺藻、紫外線殺藻等			
	吸引等による直接除去			
	25 漁獲による栄養塩の系外除去			
J. 良好な水質の水道水の確保	26 代替水源の確保			
	27 脱臭処理の強化(活性炭の準備)			
	28 浄水施設の浄化能力強化			
	29 局所的な清澄水域の確保(フェンス等)			
	30 水面利用方法の変更検討			
				ヘドロ対策の強化

## 1.4 芦ノ湖(神奈川県)

### 1.4.1 情報・データ等の収集

#### (1) 湖沼・流域の特徴等の収集

芦ノ湖は、箱根火山のカルデラの中にある「カルデラ湖」である。今から約 3100 年前に起きた大涌谷付近の噴火による土砂が、当時仙石原を流れていた川(古い早川)をせき止めたため、その上流に水がたまって湖となった。(芦ノ湖(一財)箱根町観光協会)

芦ノ湖の豊かな水は、江戸時代に作られた深良水門から取水され、静岡県側へ 1 日 15 万トンも流れ出ている。この豊かな水は、周囲の山々に降った雨が浸透して地下水となり、芦ノ湖底から多量の地下水として湧き出しているものと考えられる。(箱根町 HP キッズページはこねっこ 芦ノ湖)

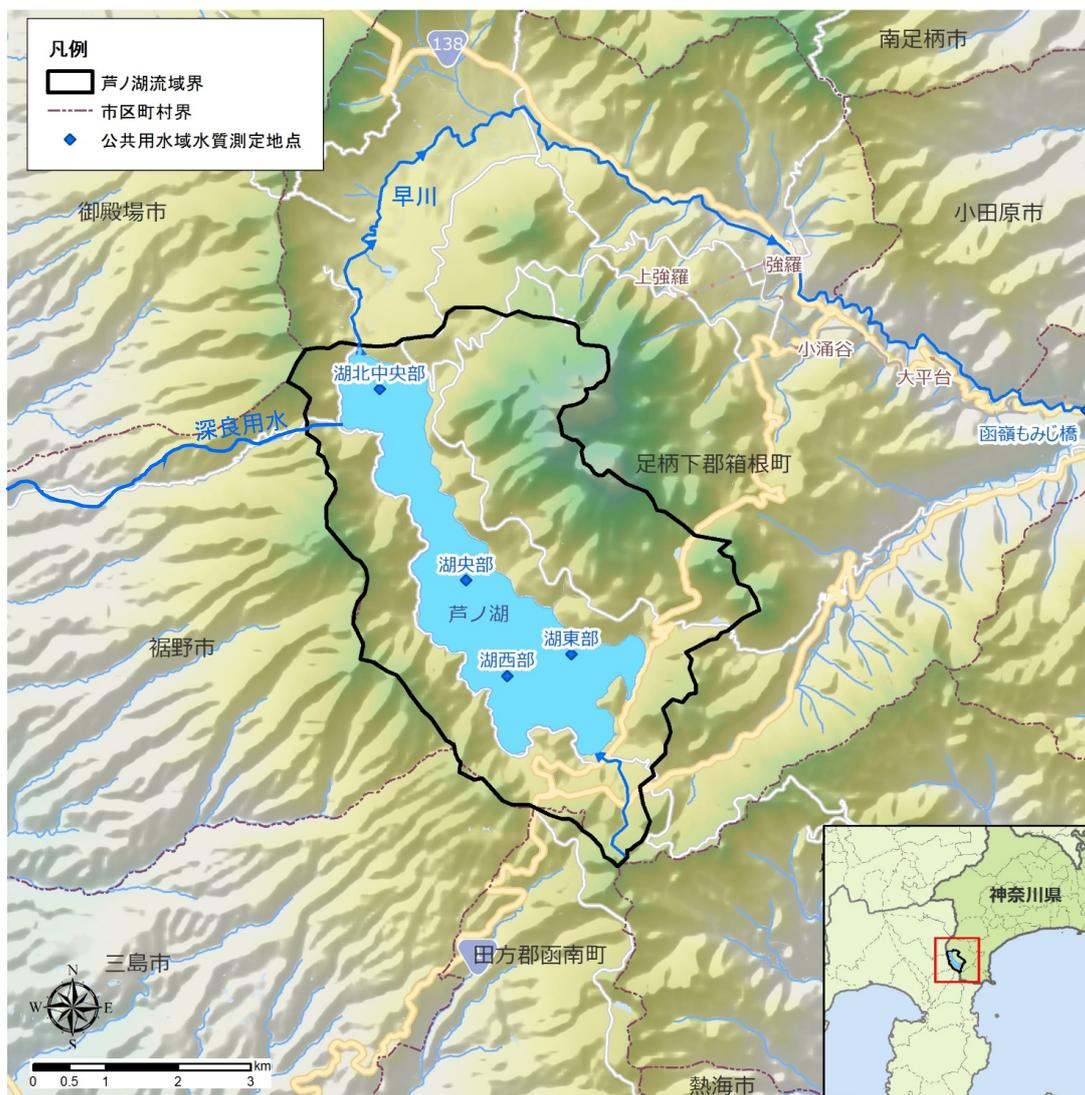
次ページに、湖沼・流域の地形、諸元等を示す。

また、関連資料収集および自治体ヒアリング結果から、主な特徴を以下に整理した。

#### 1) 地形的特徴

- ・ 芦ノ湖は、箱根火山のカルデラの中にある「カルデラ湖」。今から約 3100 年前に起きた大涌谷付近の噴火による土砂が、当時仙石原を流れていた川(古い早川)をせき止めたため、その上流に水がたまって湖となった。
- ・ 流域面積は 26.77km<sup>2</sup>、湖面積の約 4 倍であり、最大水深は 43.5m である。
- ・ 江戸時代に開削された深良用水を通して、静岡県の裾野市方面に流出している。この用水は、用水路に設けられた三ヶ所の水力発電所の発電、灌漑に用いられている。
- ・ 箱根の年間降水量は 3000 mm にも達する。
- ・ ニジマス、オオクチバス、ワカサギ等が生息している。

## 神奈川県 芦ノ湖



### 【諸元】

標高	725m
湖面積	7.03km <sup>2</sup>
最大水深	43.5m
湖容積	1.3億m <sup>3</sup>
流域面積	26.77km <sup>2</sup>
流域人口 (箱根町)	11,786人
下水道普及率 (箱根町)	54.8%

### 【環境基準】

項目	類型	基準値	平成30年度水質状況 (単位：mg/L)			
			湖北中央部	湖中央部	湖西部	湖東部
COD	湖沼・AA	1mg/L以下	1.7	1.6	1.5	1.5
T-N	—	—	0.15	0.18	0.16	0.15
T-P	—	—	0.004	0.004	0.004	0.005

備考：基準値の評価方法

COD：各基準点における全層平均の年間75%値。

T-N、T-P：各基準点における表層の年間平均値。

〈図面出典〉

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

〈データ出典〉

- ・平成30年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果(神奈川県)
- ・統計はこね(平成30年版)
- ・平成30年度末 下水道処理人口普及率(神奈川県)

## 2) 自然的特徴

- ・ 芦ノ湖の水源に関する過去の研究報告によると、湖底からの流入水が6割を占めており、表層水よりも地下水の影響が大きい。
- ・ 芦ノ湖の水質環境基準は、上水としての湖水利用はなく、自然環境保全及び水産の面から「湖沼 AA 類型」として指定されている。
- ・ 流域に負荷源はほとんどないが、湖沼 AA 類型 (COD 1mg/L) は達成できていない。考えられる負荷源としては釣り客等の撒き餌などの可能性がある。また、難分解性有機物の調査を実施しており、難分解性有機物が卓越していることが分かっている。

## 3) 利用状況

### A) 利水

- ・ 芦ノ湖には水利権があり、歴史的経緯から静岡県 of 芦湖水利組合が持っている。湖西岸の深良水門を通じて、深良用水により芦ノ湖の水を静岡県側に用水している。
- ・ 芦ノ湖からの流出は、常時は深良用水の取水のみであり、早川には流出していない。豪雨時に湖水位が上昇した際にのみ水門を開け、早川へ流出する。
- ・ 芦ノ湖の湖水位について、最近極端に低下したということは聞いていない。

### B) 漁業

- ・ 芦ノ湖のワカサギは、天皇への献上品にもなっている。
- ・ 芦ノ湖での漁業について、漁業協同組合の事業としてはワカサギの漁獲はあるが、むしろ遊漁の収入の方が多くを占めている実態がある。全国で数例しかないが、オオクチバスが漁業対象種となっている。
- ・ ワカサギについて、気候変動の影響が生じていることは確認できていない。漁協でワカサギの仔魚を放流しているが、例えばその時期が変わってきている等、現時点では確認できていない。

## (2) 水理・水質、気象データの収集

### 1) 経年変化

気象について、長期的な変化を図 1.4-1 に整理した。2010 年代は、1980 年代と比較すると、年降水量に増加傾向が見られる。

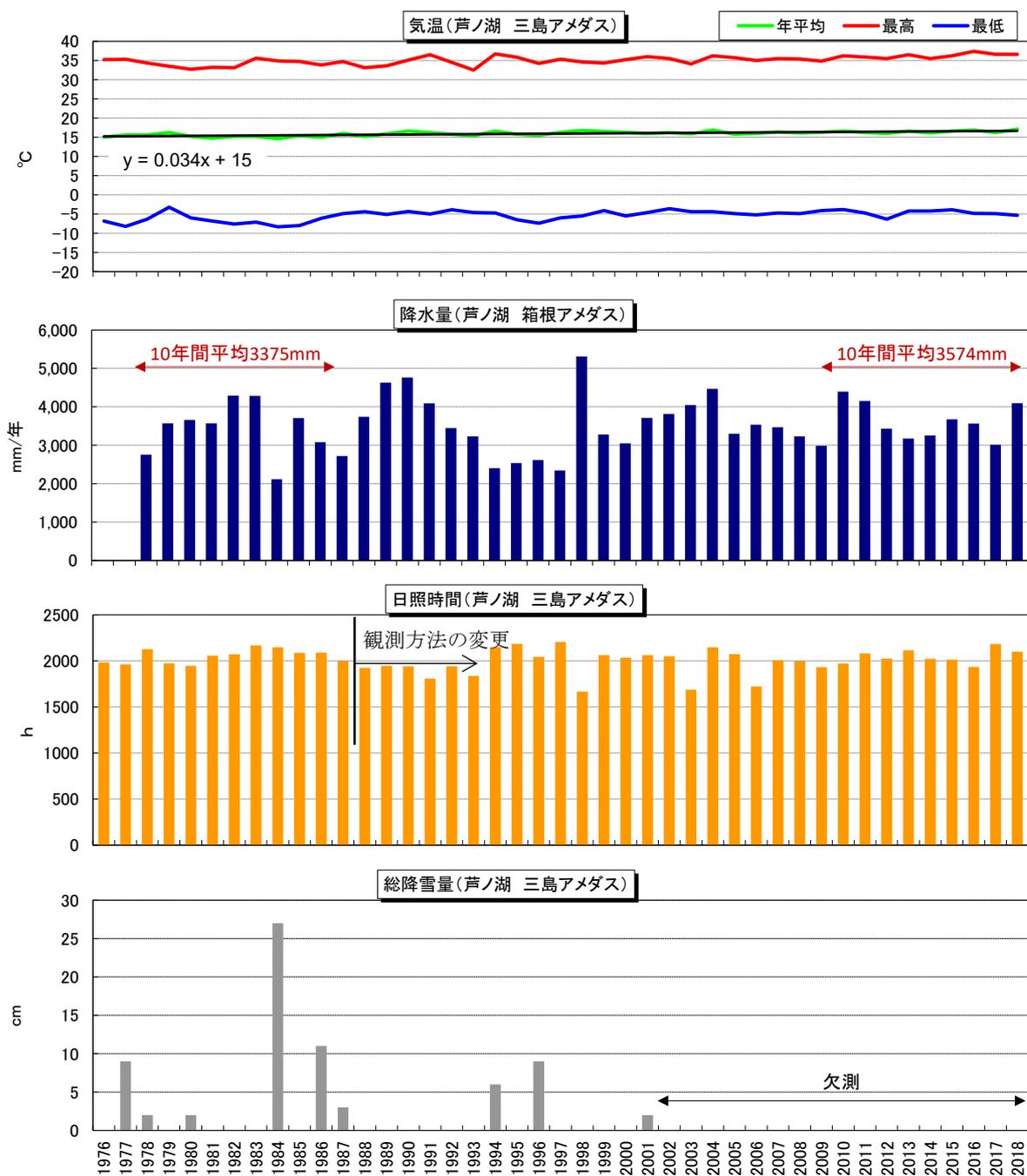


図 1.4-1 気象の経年変化(気象庁アメダス:三島・箱根)

## 2) 気温(夏季・冬季平均気温)

芦ノ湖に生息する冷水性魚類への影響が考えられる夏季気温と、冬季の全循環不全への影響が考えられる冬季気温の経年変化を図 1.4-2 に整理した。7、8、1、2月平均気温について単純に直線回帰式をあてはめると、やや上昇している傾向が見られた。

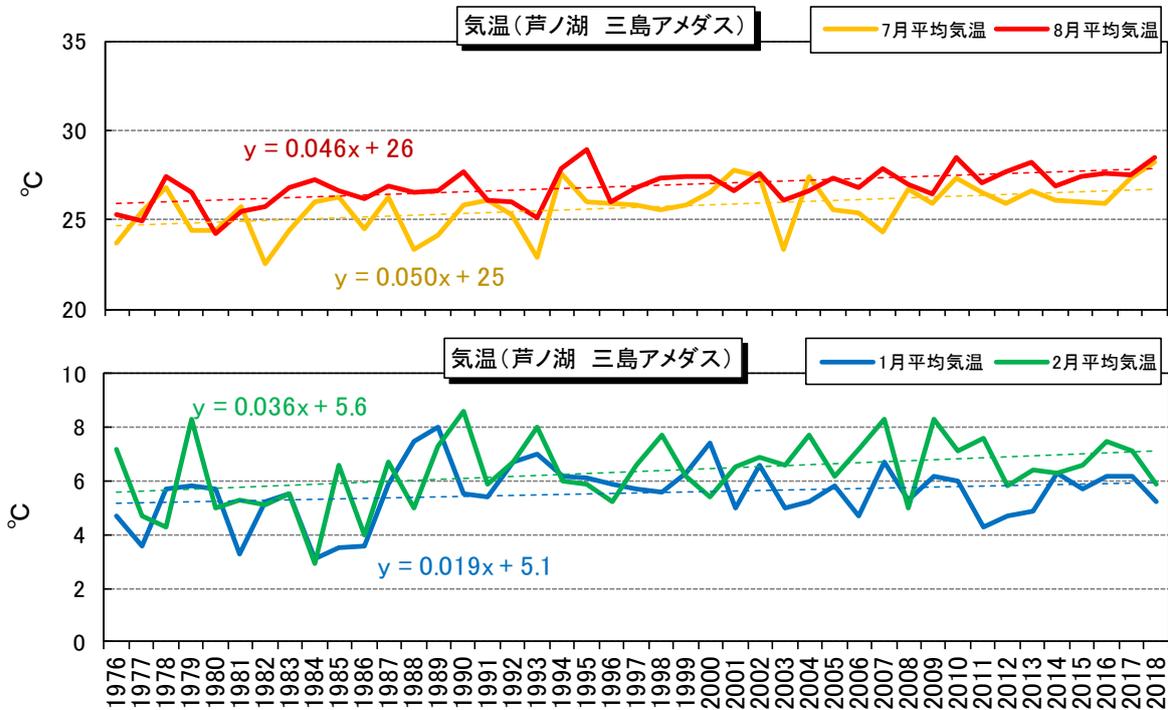


図 1.4-2 夏季と冬季平均気温の経年変化(気象庁アメダス:三島)

## 3) 降水量(100mm/日超える日数)

日降水量が 100mm を超える日数について図 1.4-3 に整理した。この地域での発生は年によってばらつきがあり、最近での明らかな変化傾向は見られない。

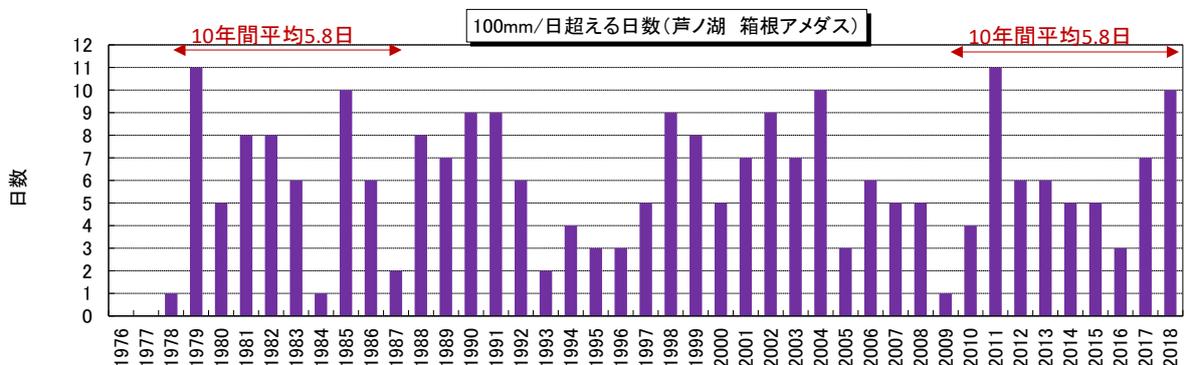


図 1.4-3 降水量が 100mm/日超える日数の経年変化(気象庁アメダス:箱根)

### (3) 将来の気象予測データの収集

芦ノ湖における将来の気象がどのように変化するかについて具体的に把握するために、公表資料である、気象庁東京管区気象台が作成した、「気候変化レポート 2018－関東甲信・北陸・東海地方－」（神奈川県）を参考に整理した。

この資料では、「地球温暖化予測情報 第9巻：RCP8.5」の計算結果に基づき整理されている。この資料から、芦ノ湖の気候変動影響に関連するとして、芦ノ湖が位置する神奈川県における気温、降水量の情報を抽出した。

#### A) 気温

将来気候（21世紀末）では夏（6-8月）に平均気温が4.0度の上昇、真夏日も平均的に70日増加する。また、冬（12-2月）に平均気温が4.6度上昇する。冬日も減少しほとんど見られなくなる。

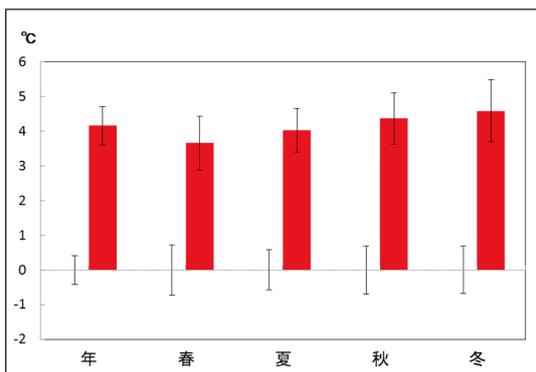


図 1.4-4 神奈川県の平均気温の将来気候における変化

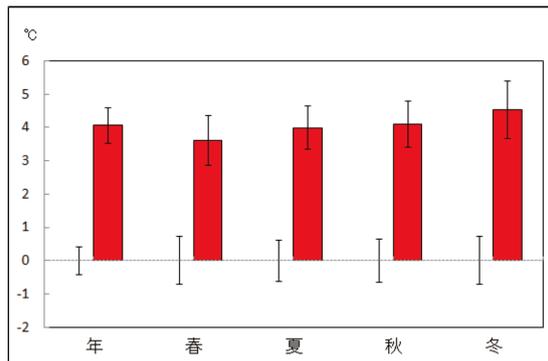


図 1.4-5 神奈川県の日最高気温の将来気候における変化

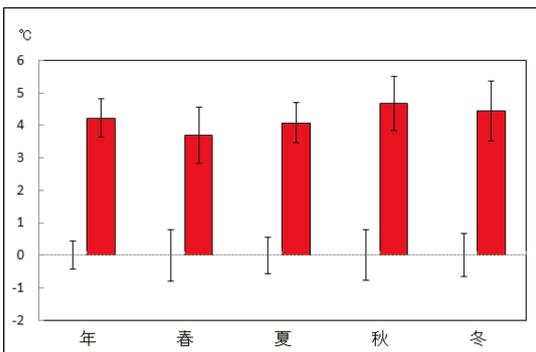


図 1.4-6 神奈川県の日最低気温の将来気候における変化

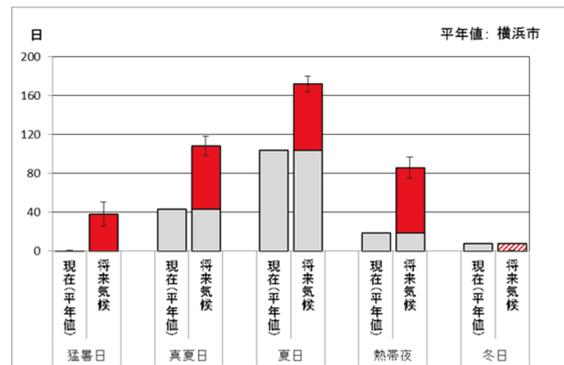


図 1.4-7 横浜市の階級別日数の将来気候における変化

## B) 降水量

日降水量 50mm 以上の発生確率が現在の約 2 倍に増加すると整理されている。

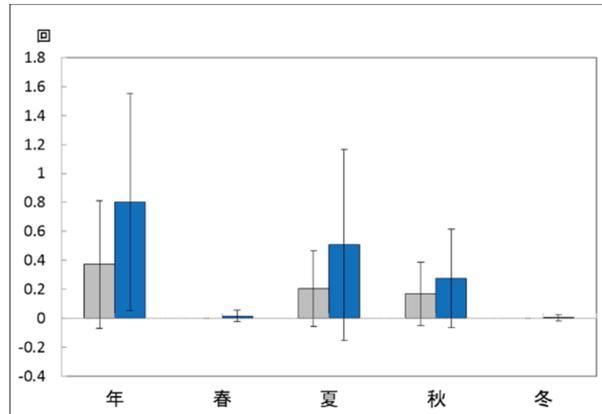


図 1.4-8 神奈川県 の 1 時間降水量 50mm 以上回数の将来気候における変化

## 1.4.2 気候変動影響の整理

### 1) 長期的な芦ノ湖の水質変化

芦ノ湖における代表的な水質地点（湖中央部）における 1984 年からの水質について、富栄養化・植物プランクトンの増殖に関連する、COD および T-N、T-P を図 1.4-9 に整理した。COD、T-N、T-P は、1980 年代から 2010 年代までに変動幅は大きくて、夏場に大きく上がる傾向がある。2010 年代以降になると、ピークが小さくなっている傾向が見られる。

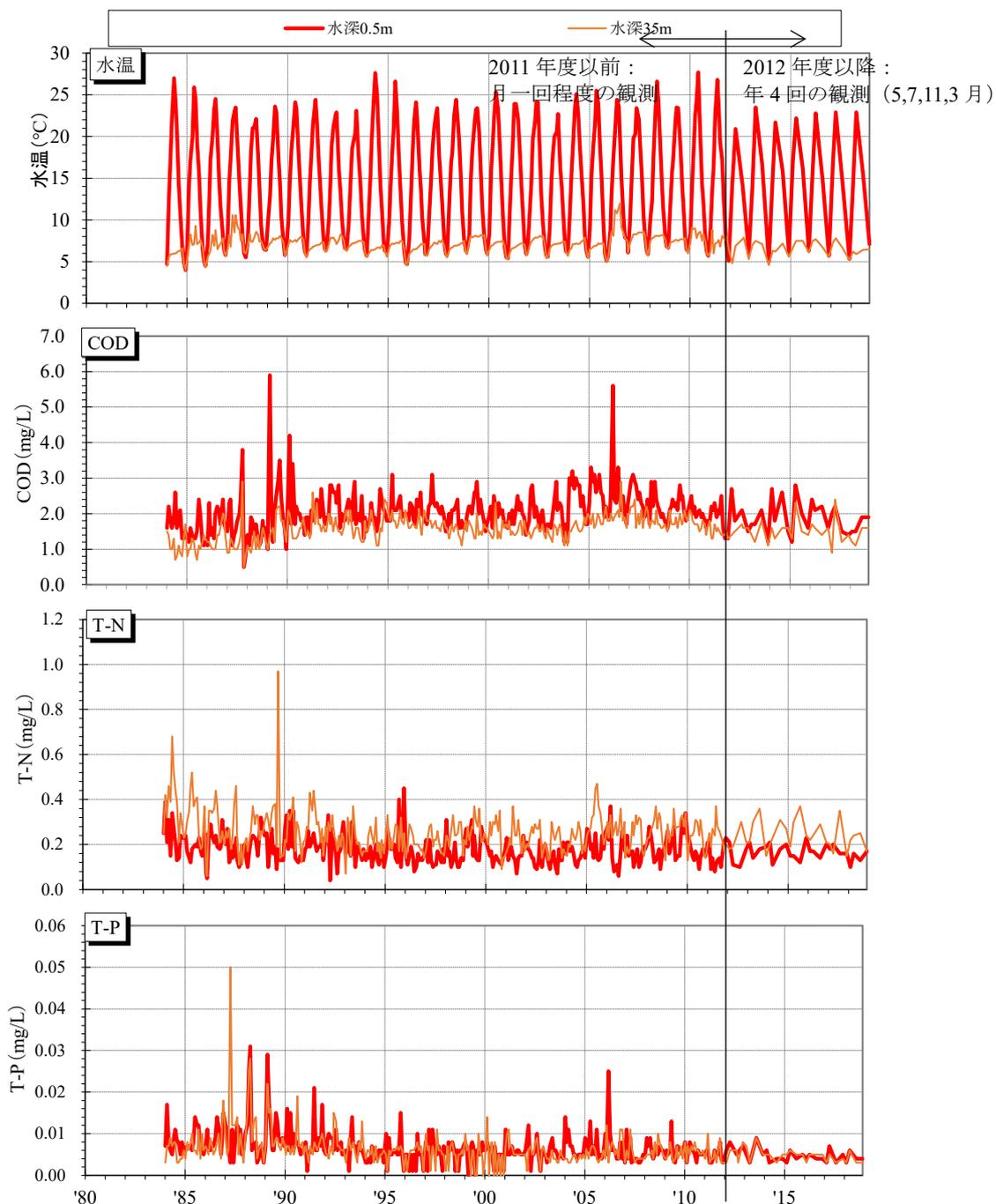


図 1.4-9 芦ノ湖における水質の経年変化(湖中央部)  
 ※データ出典：環境省 公共用水域水質測定結果

芦ノ湖の代表的な水質地点（湖央部）において、2009年と2018年の水温鉛直分布を図1.4-10に整理した。2009年と2018年の水温鉛直分布を比較した結果、10年前と同様に、2018年においては、夏季に水温成層ができており、冬季に全循環が発生していることが確認できる。なお、DOについては観測されていないため、底層の貧酸素化については確認できなかった。

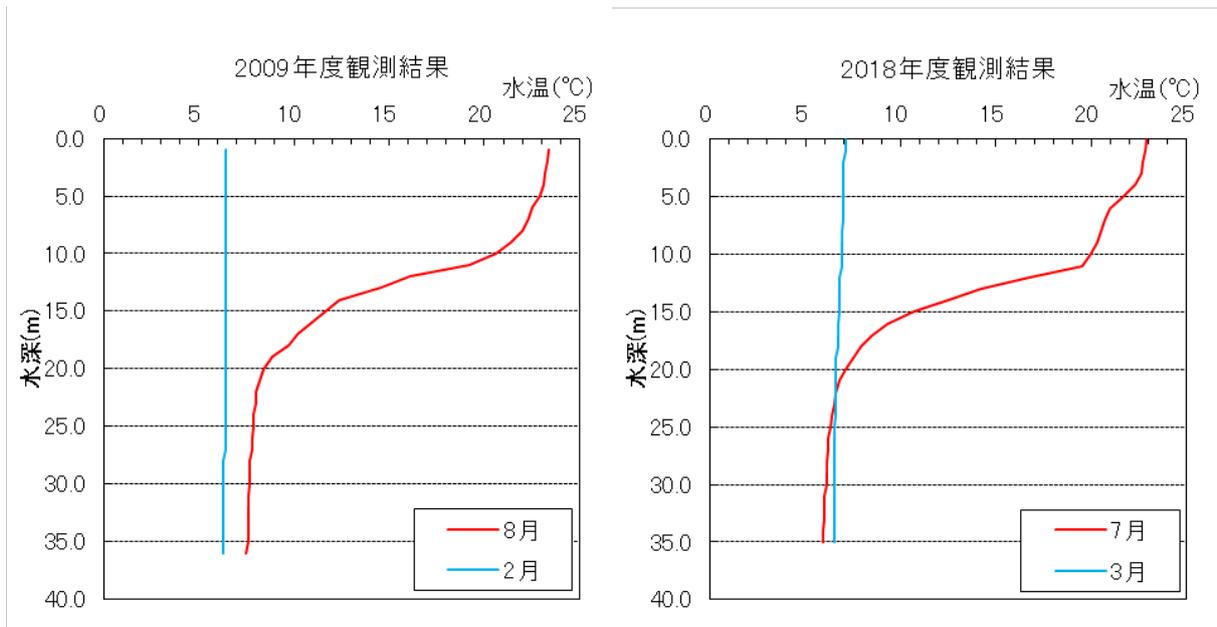


図 1.4-10 芦ノ湖における水温の鉛直分布(湖央部)

※データ出典：神奈川県提供データ

### 1.4.3 影響評価の実施、適応策の検討

以上の芦ノ湖における特性の整理結果を踏まえて、芦ノ湖における気候変動による影響を想定すると、次の項目が挙げられる。これらの影響のうち、手引きで示している全循環不全による影響と気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響について、簡易的な手法により、検討を行った。

表 1.4-1 検討対象とする気候変動影響の選定(芦ノ湖)

水環境の変化	水環境の変化 (影響を評価するための指標)		生活や地域社会への影響	情報・データ整理の結果を記入	
				湖沼の特徴	検討必要有無
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	底層利用種の漁獲量	水温躍層の形成	○
	②	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	(同上)	○
水温の上昇	③	冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	冷水性魚類の漁獲量、遊漁人口	ワカサギ等を漁獲	○
	④	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド、水生植物	夏季等に顕著な植物プランクトンの増殖は見られていない	-
	⑤	魚類等の生息水深の変化	漁法、漁獲量	ワカサギ等を漁獲	○
	⑥	底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	ワカサギ等を漁獲	○
湖面結氷の変化	⑦	湖面結氷の短期化	景観、湖面結氷や氷を利用したイベント等（地域資源）	冬季に結氷していない	-
融雪時期の流入量・栄養塩供給時期の変化	⑧	植物プランクトン発生時期、量の変化	漁獲量	積雪・融雪はあるが、湖容量に比べて流域は広くない	-
	⑨	春先の栄養塩供給量の減少	漁獲量、漁業適期、利水（浄水処理）、景観、臭気	(同上)	-
	⑩	春先の融雪水量の減少	(⑩と同じ)、利水（かんがい等）	(同上)	-
降雨強度の変化による出水時流入栄養塩量の増加	⑪	浮遊物質量の増加、透明度の変化	利水（浄水処理）、景観	湖容量に比べて流域は広くなく、河川流量の変化による水質変化影響は小さい	-
	⑫	植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁獲量	(同上)	-
降水量の減少による平常時流量の減少		(⑫と同じ)	(⑫と同じ)	(同上)	-

## (1) 気候変動による影響の検討と評価

### 1) 冬季全循環不全による底層水の貧酸素化による魚類等の底層利用種への影響

次のフローに従い、収集・整理したデータ・資料を踏まえて、芦ノ湖における気候変動影響の可能性について図 1.4-11 に整理する。

ここで、「冬季全循環不全による底層水の貧酸素化」が現状で生じているかを判断するために、水温と DO の観測値を用いる。特に、夏季の水温が上昇する時、水温成層が生じると底層が貧酸素化になりやすいことから、そのような変化が生じているかどうかを確認する。

水温と DO のデータは、各自治体を実施している調査結果から得ることができ、芦ノ湖においては、神奈川県より受領したデータを使用した。

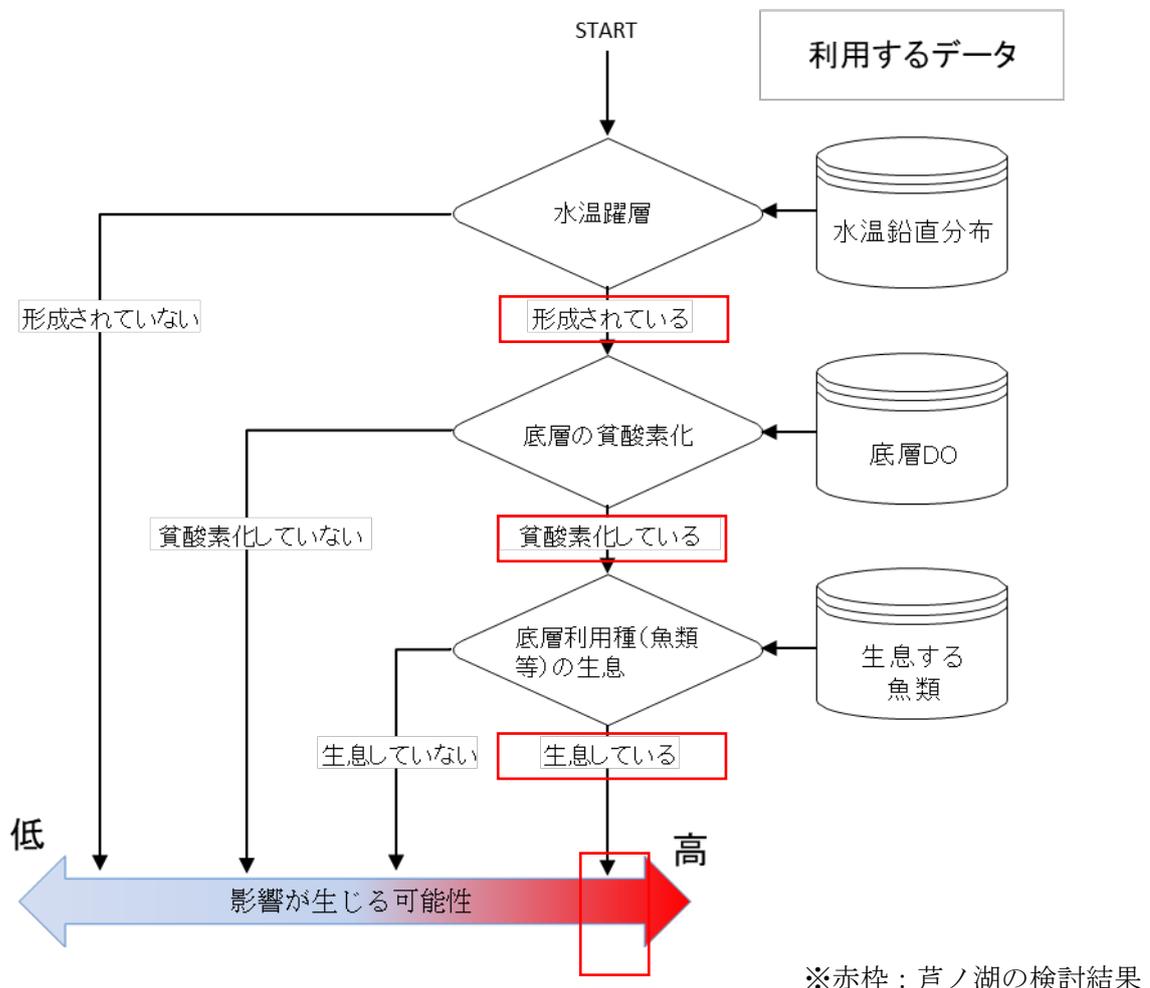


図 1.4-11 冬期全循環不全による底層水の貧酸素化、底生魚類の生息への影響の検討フロー

## A) 水温成層の形成状況

芦ノ湖の代表的な水質地点（湖央部）において、2009年と2018年の水温鉛直分布を図1.4-12に示す。2009年と2018年の水温鉛直分布を比較した結果、10年前と同様に、2018年においては、夏季に水温成層ができており、冬季に全循環が発生していることが確認できる。

なお、DOについては観測されていないため、底層の貧酸素化については確認できなかった。

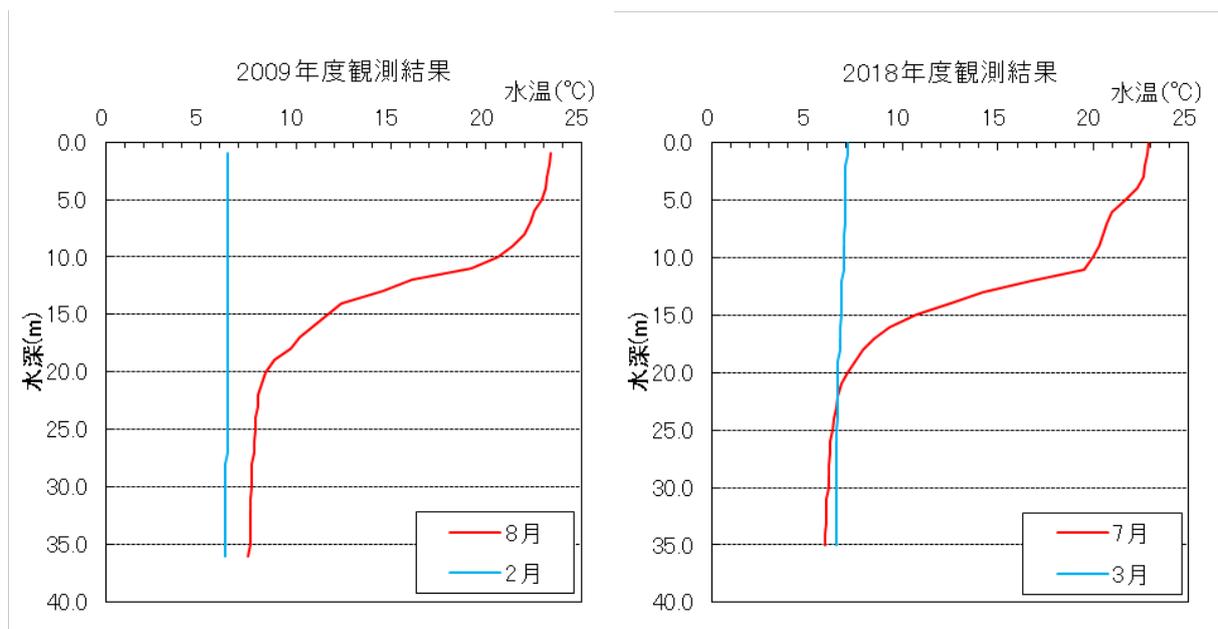


図 1.4-12 芦ノ湖における水質の鉛直分布(湖央部)

⇒【影響評価】水温成層は生じている。

## B) 底層 DO(溶存酸素)の状況

芦ノ湖において、水深別の DO のデータが入手できなかった。

⇒【影響評価】底層の貧酸素化が発生している場合には、気候変動により冬季全循環不全により底生魚類の生息への影響が生じる可能性がある。

## C) 底生魚類の生息

ワカサギなどが生息している。

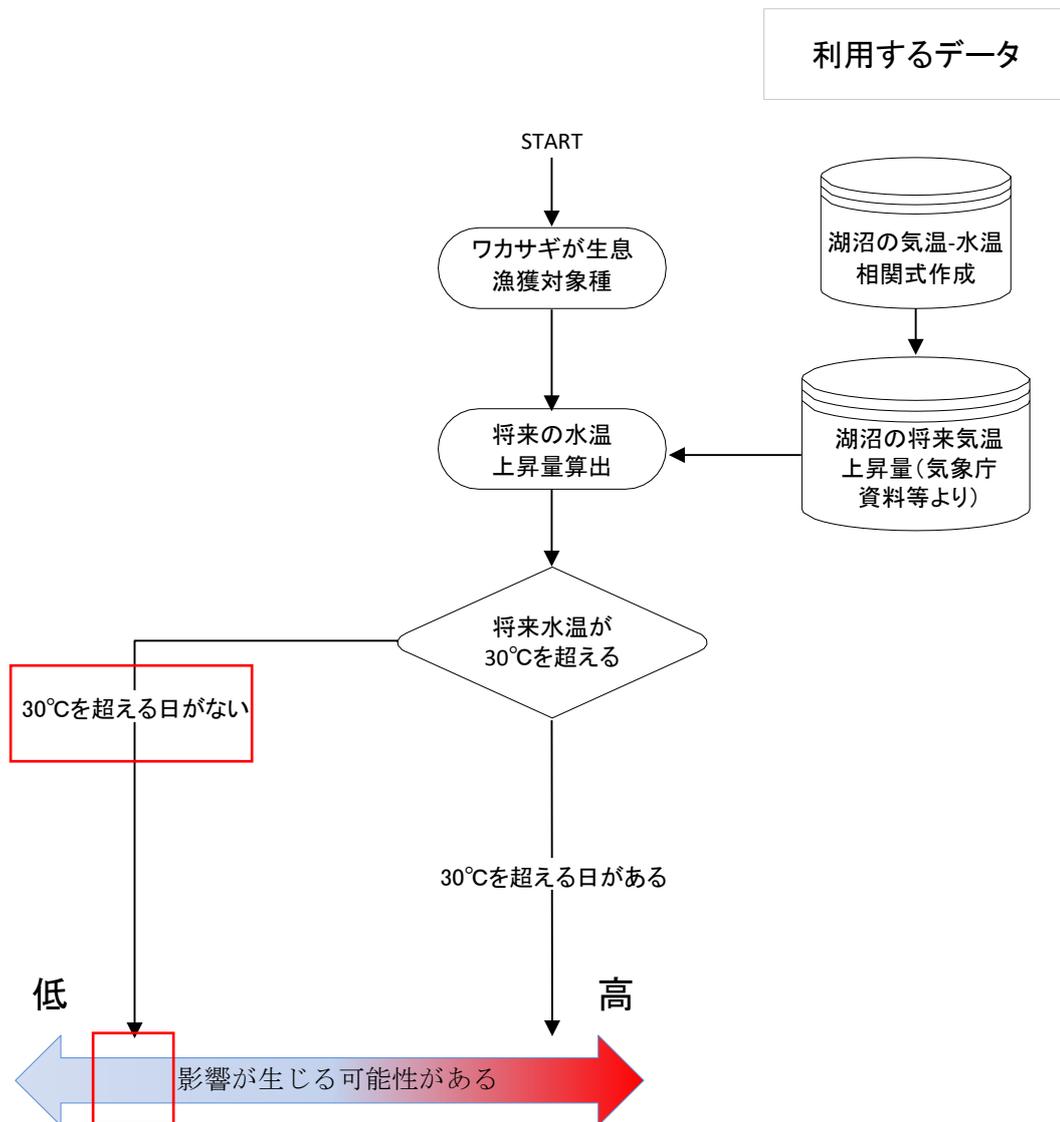
⇒【影響評価】現在、底層の貧酸素化が確認されていないが、仮に将来、貧酸素化が生じた場合においても、ワカサギ等の魚類は鉛直移動ができるため、生息に影響が生じる可能性が低いと考えられる。

## 2) 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響

水温上昇による冷水性魚類への影響については、図 1.4-13 のフローに従い、芦ノ湖における気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響を検討する。

ワカサギを例にして影響評価を行い、影響が生じる可能性の有無を検討する。ワカサギでは、成魚の生息適水温の範囲が 0~30℃であることが既往文献から分かっているため、将来の水温が 30℃を超えるかどうかで、ワカサギの生息への影響を評価する。

なお、ワカサギ以外の種については、魚種によって水温変化の適性や高水温への耐性が異なるため、検討対象とする魚種の生態的知見を収集し、その種の生息適水温を把握できれば、同様な検討を行うことが可能である。



※赤枠：芦ノ湖の検討結果

図 1.4-13 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響の検討フロー  
(影響評価の対象魚種をワカサギとした場合)

### A) 将来の水温上昇量算出

芦ノ湖における将来の水温上昇量の算出結果を図 1.4-14 に示す。将来の気温上昇量 4.1℃ に対して、既往と水温の相関式より、将来の水温は最高に 28.0℃ になる可能性がある。そのため、ワカサギの生活が可能である最高水温としての 30℃ を将来超える可能性は低いと考えられる。

⇒【影響評価】 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類（ワカサギ）への影響が生じる可能性が低いと考えられる。

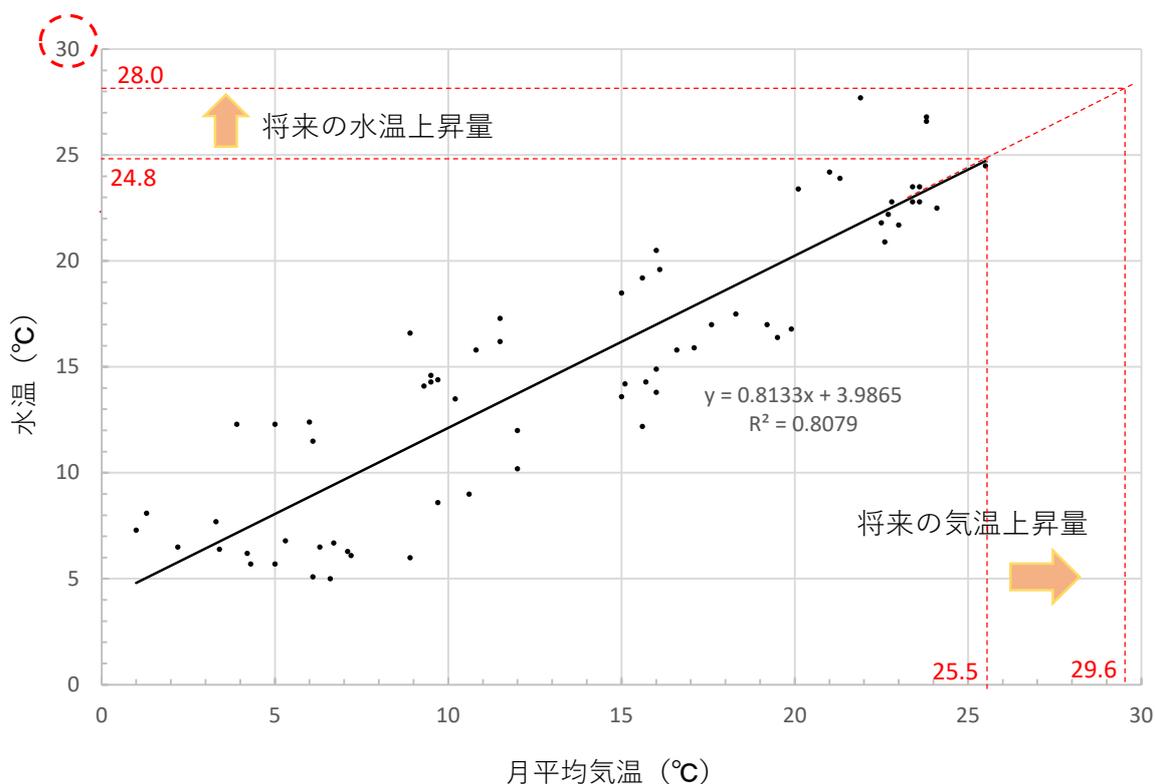


図 1.4-14 将来の水温上昇量の算出

表 1.4-2 全国及び地域別の平均気温の変化

地域	年	春	夏	地域	秋	冬
全国	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	4.2 ± 0.5	全国	4.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9
北日本日本海側	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本日本海側	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.1
北日本太平洋側	4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本太平洋側	5.0 ± 0.8	5.5 ± 1.1
東日本日本海側	4.5 ± 0.6	4.1 ± 0.9	4.3 ± 0.6	東日本日本海側	4.7 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6	東日本太平洋側	4.5 ± 0.8	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.7 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本日本海側	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.9
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本太平洋側	4.3 ± 0.8	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.4	沖縄・奄美	3.5 ± 0.6	3.6 ± 0.8

出典：気象庁 地球温暖化予測情報 第9巻 (2017年)

## 1.5 諏訪湖(長野県)

### 1.5.1 情報・データ等の収集

#### (1) 湖沼・流域の特徴等の収集

諏訪湖は長野県の中央に位置する県内最大の湖であり、諏訪地域はもとより長野県のシンボルとなっている。本県の文化観光資源として重要な役割を果たすとともに、諏訪地域の歴史・文化を育み、人々の生活や産業を支えてきた。また、天竜川は、伊那谷を下り、遠州浜松を経て太平洋に注ぎ、諏訪湖と共に沿川の地域の産業や文化の発展に大きく影響を与えている。(諏訪湖に係る第7期湖沼水質保全計画)

なお、諏訪湖について、諏訪湖創生ビジョンを平成30年3月に策定した。諏訪湖の位置づけや、将来の姿、取組などをまとめた計画である。諏訪地域が一丸となって、諏訪湖を守っていこうという内容となっている。

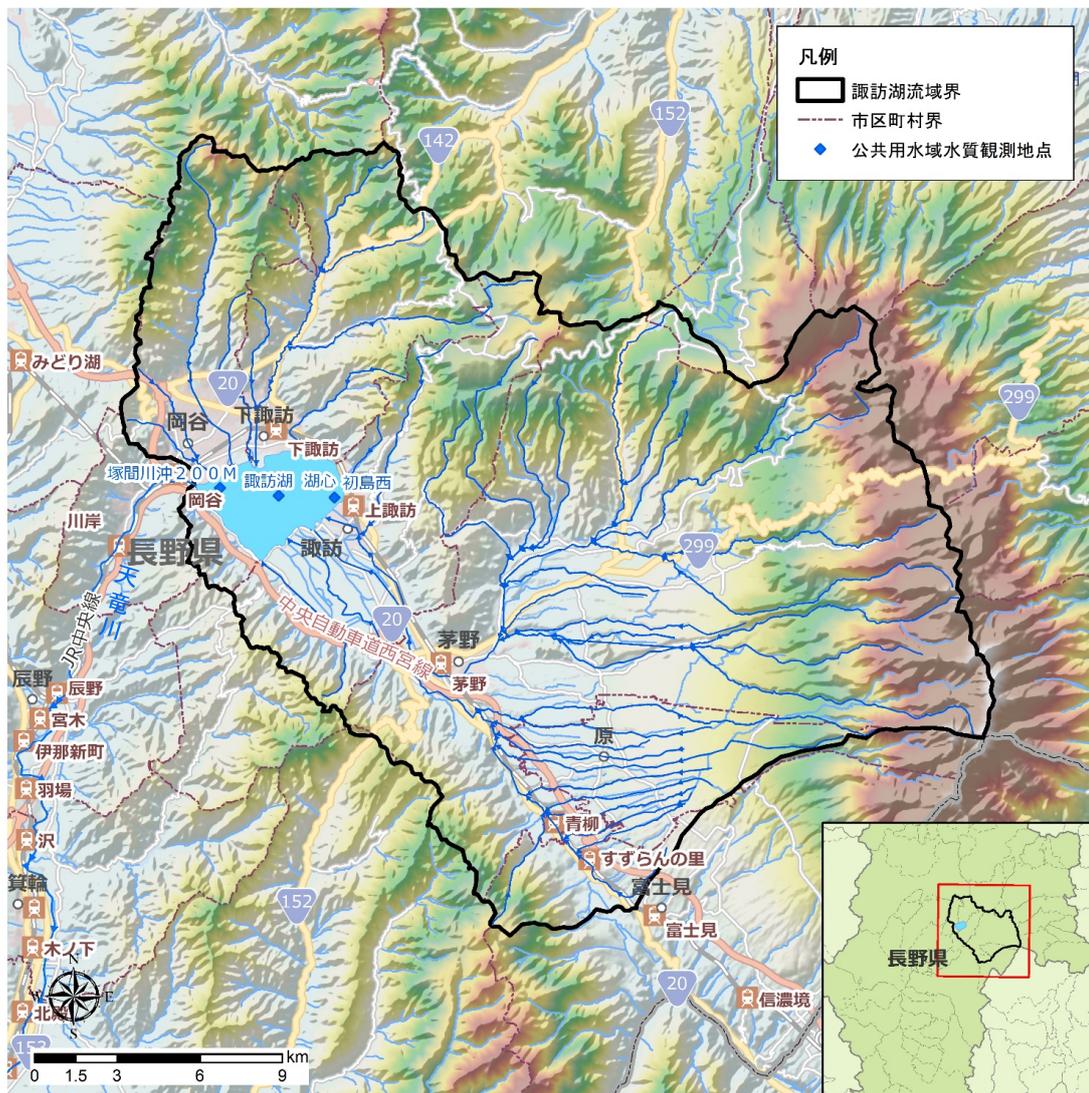
次ページに、湖沼・流域の地形、諸元等を示す。

また、関連資料収集および自治体ヒアリング結果から、主な特徴を以下に整理した。

#### 1) 地形的特徴

- ・ 諏訪湖は長野県の中央に位置する県内最大の湖であり、文化観光資源として重要な役割を果たすとともに、諏訪地域の歴史・文化を育み、人々の生活や産業を支えてきた。
- ・ また、天竜川は、伊那谷を下り、遠州浜松を経て太平洋に注ぎ、諏訪湖と共に沿川の地域の産業や文化の発展に大きく影響を与えている。
- ・ 流域面積は531.2 km<sup>2</sup>、湖面積13.3 km<sup>2</sup>、の約40倍あり、流入河川は支流も含め31河川もあるが、流出河川は天竜川のみである。
- ・ 水利に関しては諏訪湖から直接水を取水する水利権はない。

# 長野県 諏訪湖



## 【諸元】

標高	759m
湖面積	13.3km <sup>2</sup>
最大水深	7.2m
湖容積	0.63億m <sup>3</sup>
流域面積	531.2km <sup>2</sup>
流域人口 (H29)	176,473人
下水道普及率 (H27)	98.40%

## 【環境基準】

項目	類型	基準値	令和元年度水質状況 (単位：mg/L)		
			湖心	初島西	塚間川沖
COD	湖沼・A	3mg/L以下	3.9	4.2	4.1
T-N	湖沼・Ⅳ	0.6mg/L以下	0.61	0.61	0.57
T-P	湖沼・Ⅳ	0.05mg/L以下	0.035	0.040	0.034

備考：基準値の評価方法  
 COD：各基準点における全層平均の年間75％値。  
 T-N、T-P：各基準点における表層の年間平均値。

### 〈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

### 〈データ出典〉

- ・令和元年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果（長野県）
- ・諏訪湖の流域概要 長野県ホームページ

## 2) 自然的特徴

- ・ 諏訪湖の水質としては、諏訪湖に直接放流していた下水処理水を天竜川へバイパス的に放流したことにより COD は改善してきているという認識である。一方で別の問題が生じてきている。ヒシの大量繁茂は景観阻害する。底層の貧酸素化も生じている。平成 28 年にはワカサギの大量死が発生し、原因は今も明らかになっていないが、漁業にとって大きな問題であった。
- ・ 諏訪湖では、かつて水質が悪化する前の生態系を取り戻そうという理念を持っている。
- ・ 諏訪湖には、八ヶ岳があり、春先に流入河川で融雪出水が生じる。県では、現在、融雪時の河川流量、水質などの調査を実施しており、融雪出水の影響を整理する予定である。

## 3) 利用状況

### A) 利水

- ・ 諏訪湖には湖水の直接取水はなく、水利権は設定されてない。
- ・ 諏訪湖周辺の水道水の水源は、ほとんど地下水だと認識しているが、担当課に確認しておく。

### B) 漁業

- ・ 諏訪湖および上川など流入河川には漁業権が設定されており、諏訪湖漁協が所有している。諏訪湖には漁協は 1 つだけである。
- ・ 諏訪湖のワカサギは、漁業の最も重要な資源であり、また全国にも卵を出荷している。
- ・ ワカサギの漁獲量はかつてと比べ激減している。この原因にはいくつかあるが、かつてと比べて状況が変わっていることとして、外来魚の侵入や、カワアイサによる食害もあると考えている。
- ・ 諏訪湖の外来魚対策としては、電気ショッカーによる駆除を実施している。
- ・ 科学的に証明されているわけではなく、聞いた話であるが、湖面結氷とワカサギの漁獲量に関係があるのではと聞いた。結氷すると鳥の食害にあわなくなる。

### C) 観光・湖面利用

- ・ 諏訪湖の湖辺利用について、創生ビジョンにおいてゾーニングされており、エリアによって整備の方向性を定めている。
- ・ 湖面結氷は生じており、「御神渡り」は全国的にも有名である。
- ・ 諏訪湖の湖面結氷に関して、論文等を収集しているところである。提供できるものが見つかれば、提供する。

## (2) 水理・水質、気象データの収集

### 1) 経年変化

気象について、長期的な変化を図 1.5-1 に整理した。2010 年代は、1980 年代と比較すると、年降水量に増加傾向が見られる。

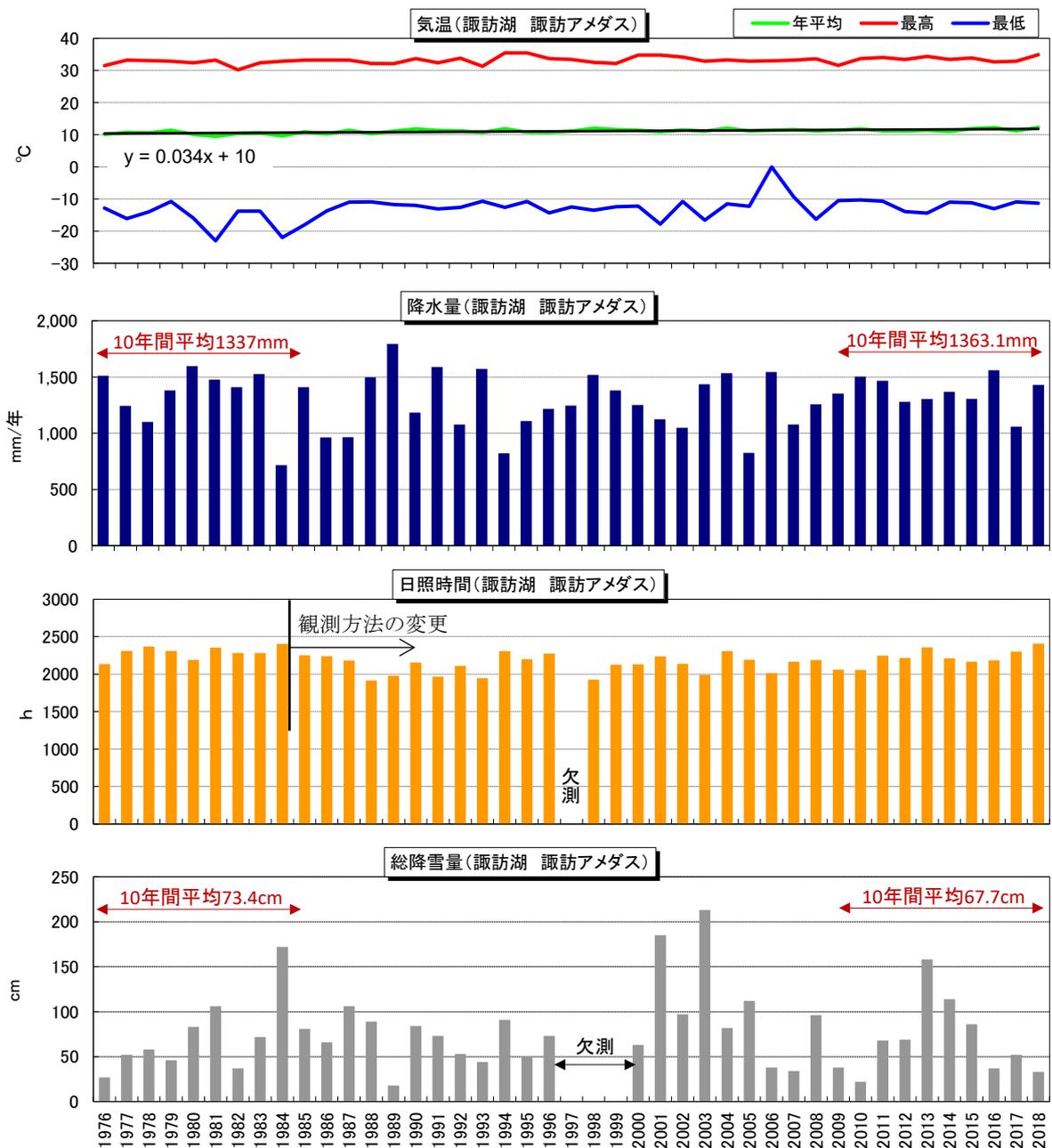


図 1.5-1 気象の経年変化(気象庁アメダス: 諏訪)

## 2) 気温(真夏日・真冬日)

夏季の植物プランクトン増殖や、冬季の湖面結氷に影響すると考えられる、真夏日・真冬日の発生日数について図 1.5-2 に整理した。2010年代は、1980年代と比較すると、真夏日の日数が2倍近くなり、真冬日の日数は半分以下となっている。

※真夏日：最高気温が30℃以上の日      真冬日：最高気温が0℃未満の日

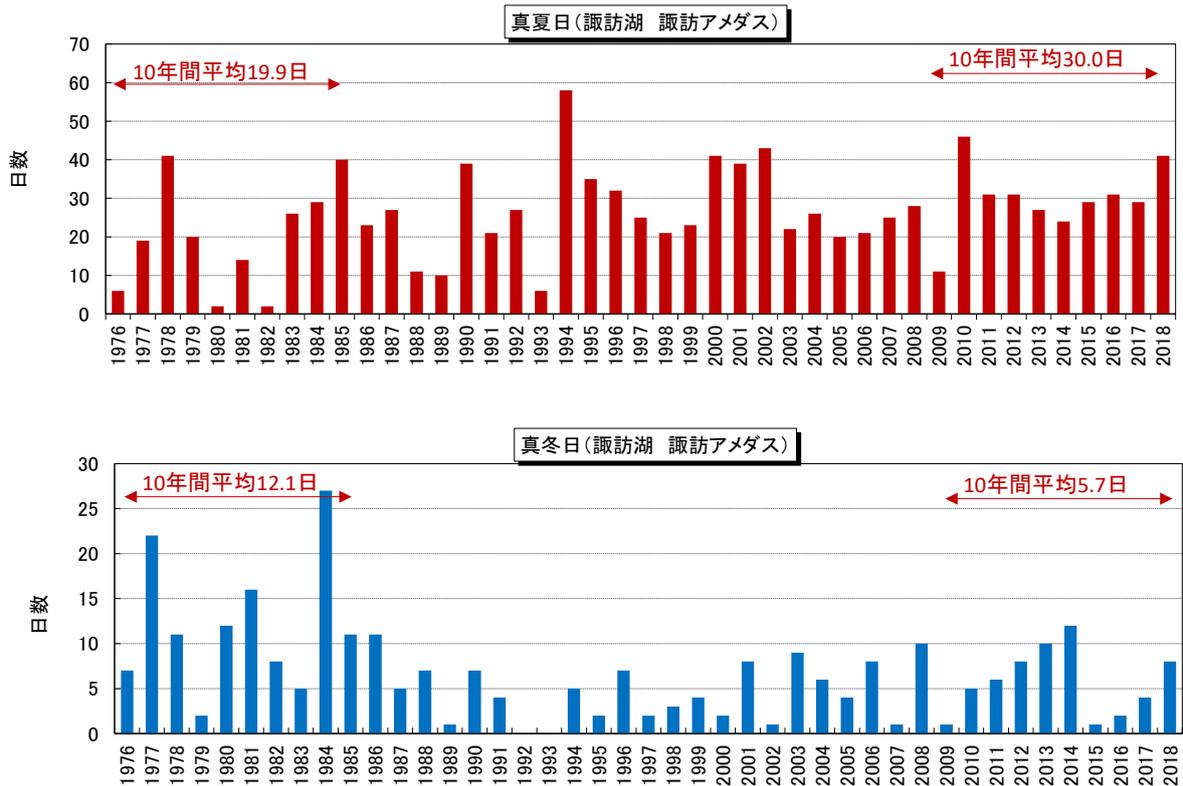


図 1.5-2 真夏日、真冬日の経年変化(気象庁アメダス:諏訪)

### 3) 気温(夏季・冬季平均気温)

諏訪湖に生息する冷水性魚類への影響が考えられる夏季気温経年変化を図 1.5-3 に整理した。7、8 月平均気温について単純に直線回帰式をあてはめると、やや上昇している傾向が見られた。

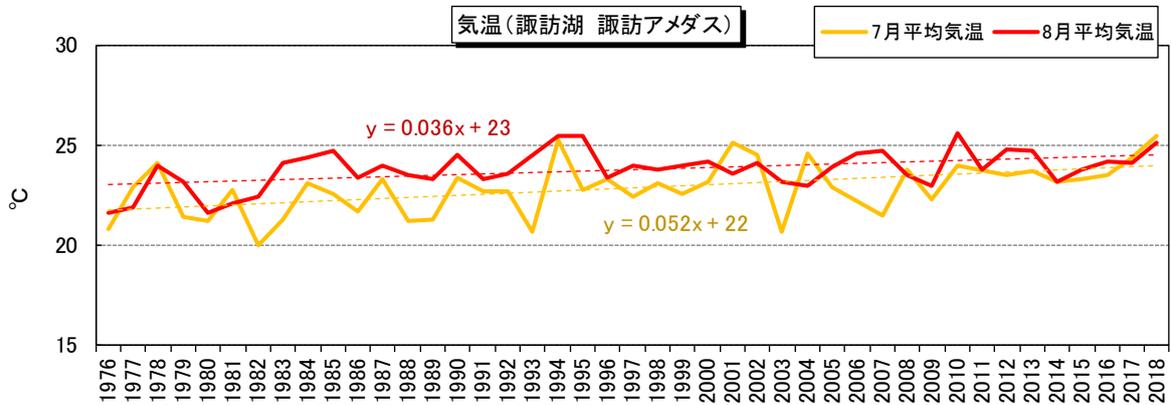


図 1.5-3 夏季平均気温の経年変化(気象庁アメダス:諏訪)

### 4) 降水量(100mm/日超える日数)

日降水量が 100mm を超える日数について、この地域での発生は少なく、最近での明らかな変化傾向は見られない。

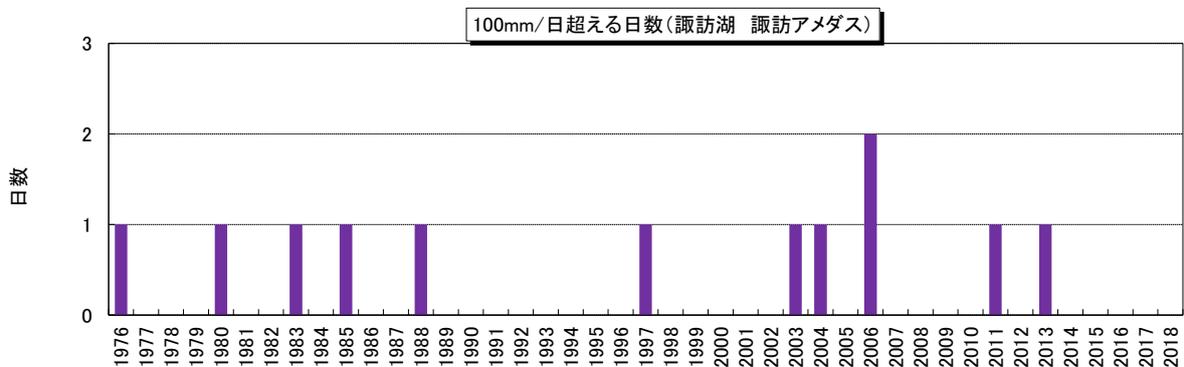


図 1.5-4 降水量が 100mm/日超える日数の経年変化(気象庁アメダス:諏訪)

### (3) 将来の気象予測データの収集

諏訪湖における将来の気象がどのように変化するのかについて具体的に把握するために、公表資料である、気象庁東京管区気象台が作成した、「気候変化レポート 2018－関東甲信・北陸・東海地方－」（長野県）を参考に整理した。

この資料では、「地球温暖化予測情報 第9巻：RCP8.5」の計算結果に基づき整理されている。この資料から、諏訪湖の気候変動影響に関連するとして、諏訪湖が位置する長野県における気温、降水量の情報を抽出した。

## 1) 気温

将来気候（21世紀末）では夏（6-8月）に平均気温が4.5度の上昇、真夏日も平均的に50日増加する。また、冬（12-2月）に平均気温が5.2度の上昇、冬日も現在より65日減少する。

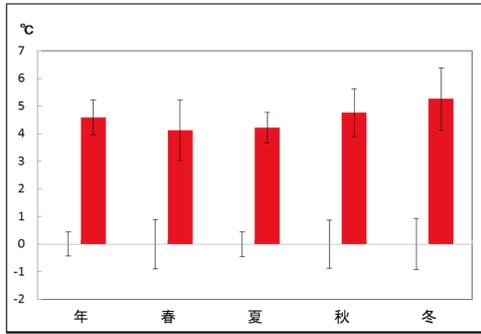


図 1.5-5 長野県の平均気温の将来気候における変化

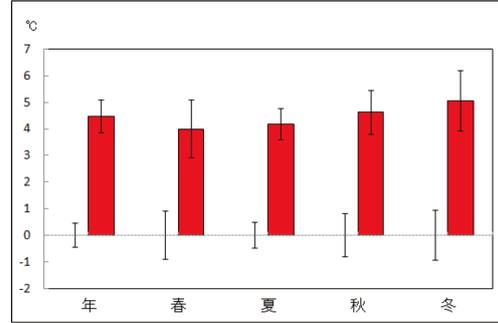


図 1.5-6 長野県の日最高気温の将来気候における変化

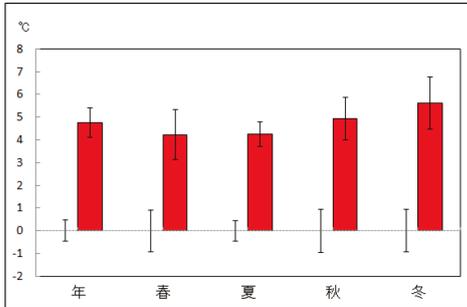


図 1.5-7 長野県の日最低気温の将来気候における変化

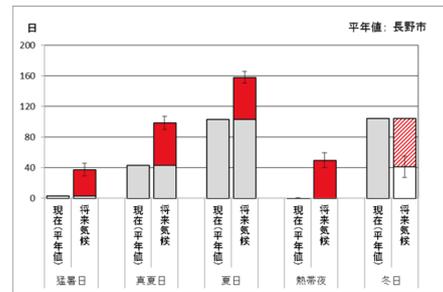


図 1.5-8 長野市の階級別日数の将来気候における変化

## 2) 降水量

日降水量 50mm 以上の発生確率が現在の約 5 倍に増加すると整理されている。

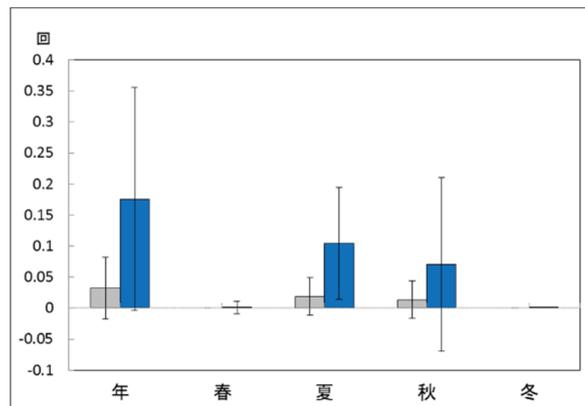


図 1.5-9 長野県の1時間降水量50mm以上回数の将来気候における変化

## 1.5.2 気候変動影響の整理

### (1) 長期的な諏訪湖の水質変化

諏訪湖における代表的な水質地点（湖心）における 1981 年からの水質について、富栄養化・植物プランクトンの増殖に関連する、COD および T-N、T-P を図 1.5-10 に整理した。

諏訪湖において、COD、T-N、T-P について見ると、1980 年代の変動幅は大きくなく、2000 年代以降になると、COD のピークが小さくなる傾向が見られる。

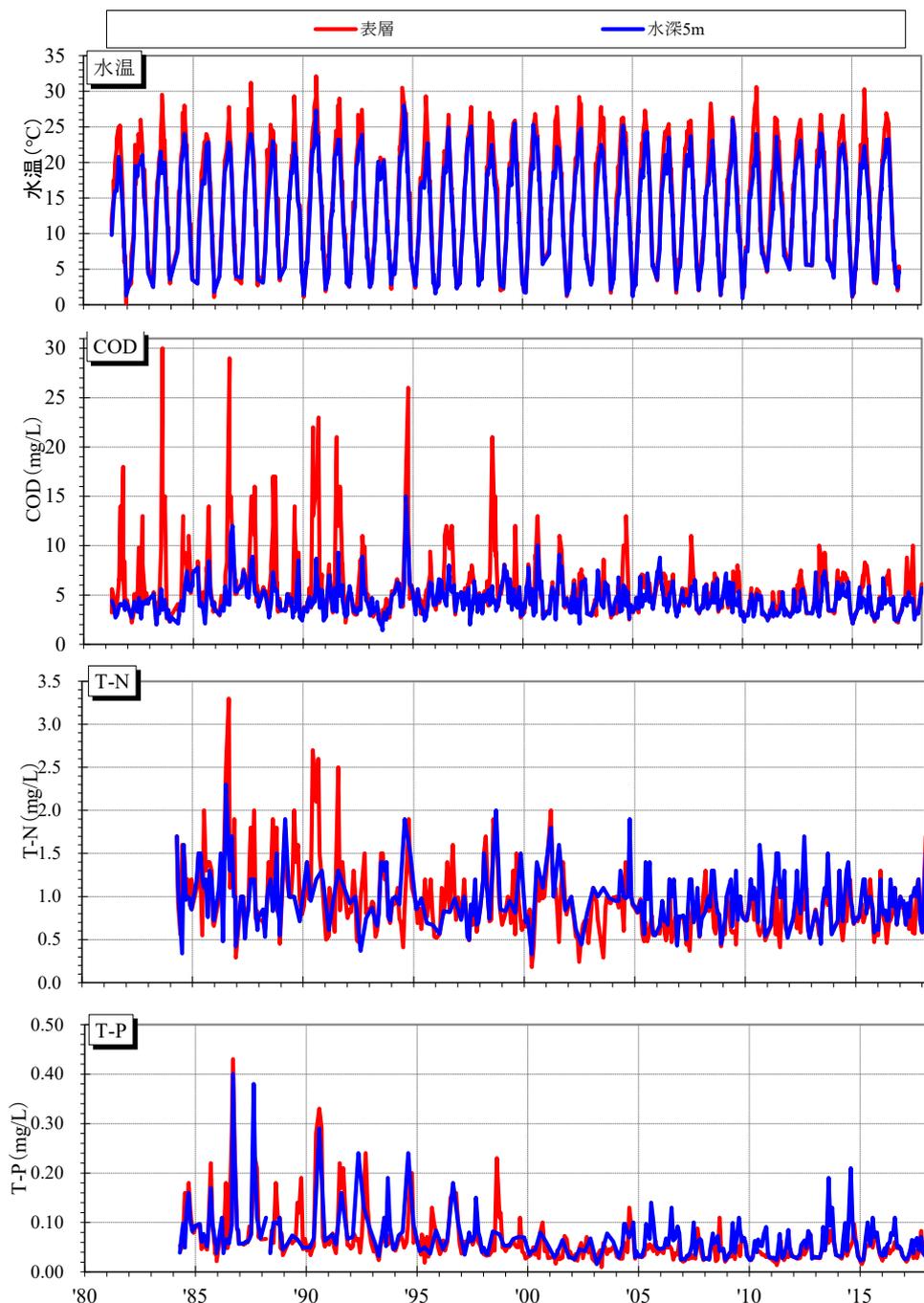


図 1.5-10 諏訪湖における水質の経年変化(湖心)

※データ出典:環境省 公共用水域水質測定結果

諏訪湖における代表的な水質地点（湖心）において、2009 と 2018 年の水温と DO の鉛直分布を図 1.5-11 に示す。10 年前と同様に、7 月に水温成層ができているとともに底層に DO の濃度が下がっていることが分かった。

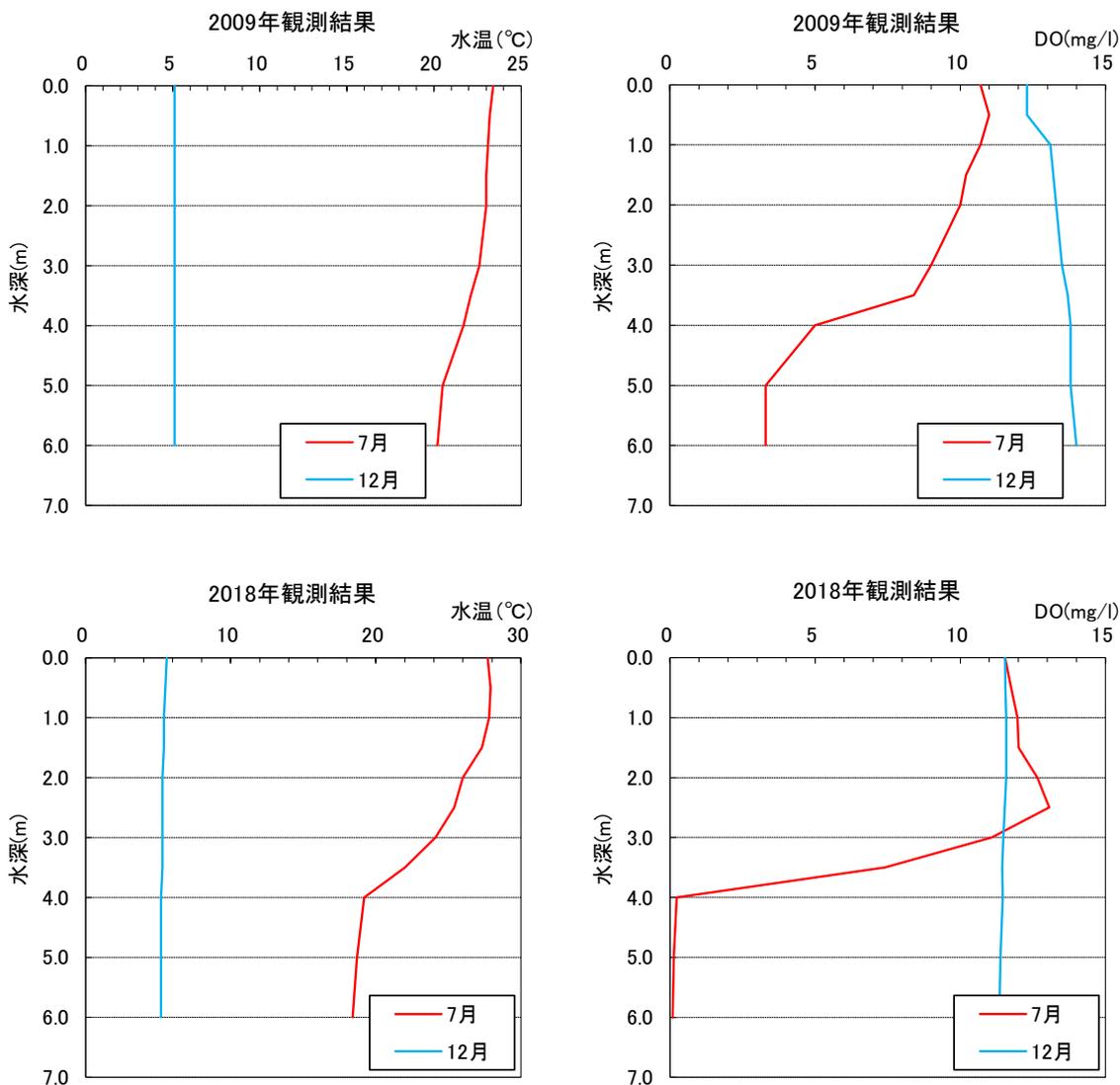


図 1.5-11 諏訪湖における水質の鉛直分布(湖心)

※ データ出典：長野県提供データ

### 1.5.3 影響評価の実施、適応策の検討

以上の諏訪湖における特性の整理結果を踏まえて、諏訪湖における気候変動による影響を想定すると、次の項目が挙げられる。これらの影響のうち、手引きで示している全循環不全による影響、植物プランクトンの増殖による利水への影響と湖面結氷短期化による影響について、簡易的な手法により、検討を行った。

表 1.5-1 検討対象とする気候変動影響の選定(諏訪湖)

水環境の変化	水環境の変化 (影響を評価するための指標)	生活や地域社会への影響	情報・データ整理の結果を記入	
			湖沼の特徴	検討必要有無
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	底層利用種の漁獲量	冬季に全循環が発生	-
	② 底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	(同上)	-
水温の上昇	③ 冷水性魚類等の生息適水温とのずれ	冷水性魚類の漁獲量、遊漁人口	ワカサギを漁獲	○
	④ 植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド、水生植物	観光地である	○
	⑤ 魚類等の生息水深の変化	漁法、漁獲量	ワカサギを漁獲	-
	⑥ 底泥からの窒素、リンの溶出	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁業ブランド	観光地である	○
湖面結氷の変化	⑦ 湖面結氷の短期化	景観、湖面結氷や氷を利用したイベント等（地域資源）	結氷関連のイベント	○
融雪時期の流入量・栄養塩供給時期の変化	⑧ 植物プランクトン発生時期、量の変化	漁獲量	融雪出水がある ワカサギを漁獲	○
	⑨ 春先の栄養塩供給量の減少	漁獲量、漁業適期、利水（浄水処理）、景観、臭気	融雪出水がある ワカサギを漁獲 観光地である	○
	⑩ 春先の融雪水量の減少	(⑩と同じ)、利水（かんがい等）	(同上)	○
降雨強度の変化による出水時流入栄養塩量の増加	⑪ 浮遊物質量の増加、透明度の変化	利水（浄水処理）、景観	ワカサギを漁獲	○
	⑫ 植物プランクトンの変化	利水（浄水処理）、景観、臭気、漁獲量	ワカサギを漁獲 観光地である	○
降水量の減少による平常時流量の減少	(⑫と同じ)	(⑫と同じ)	(同上)	○

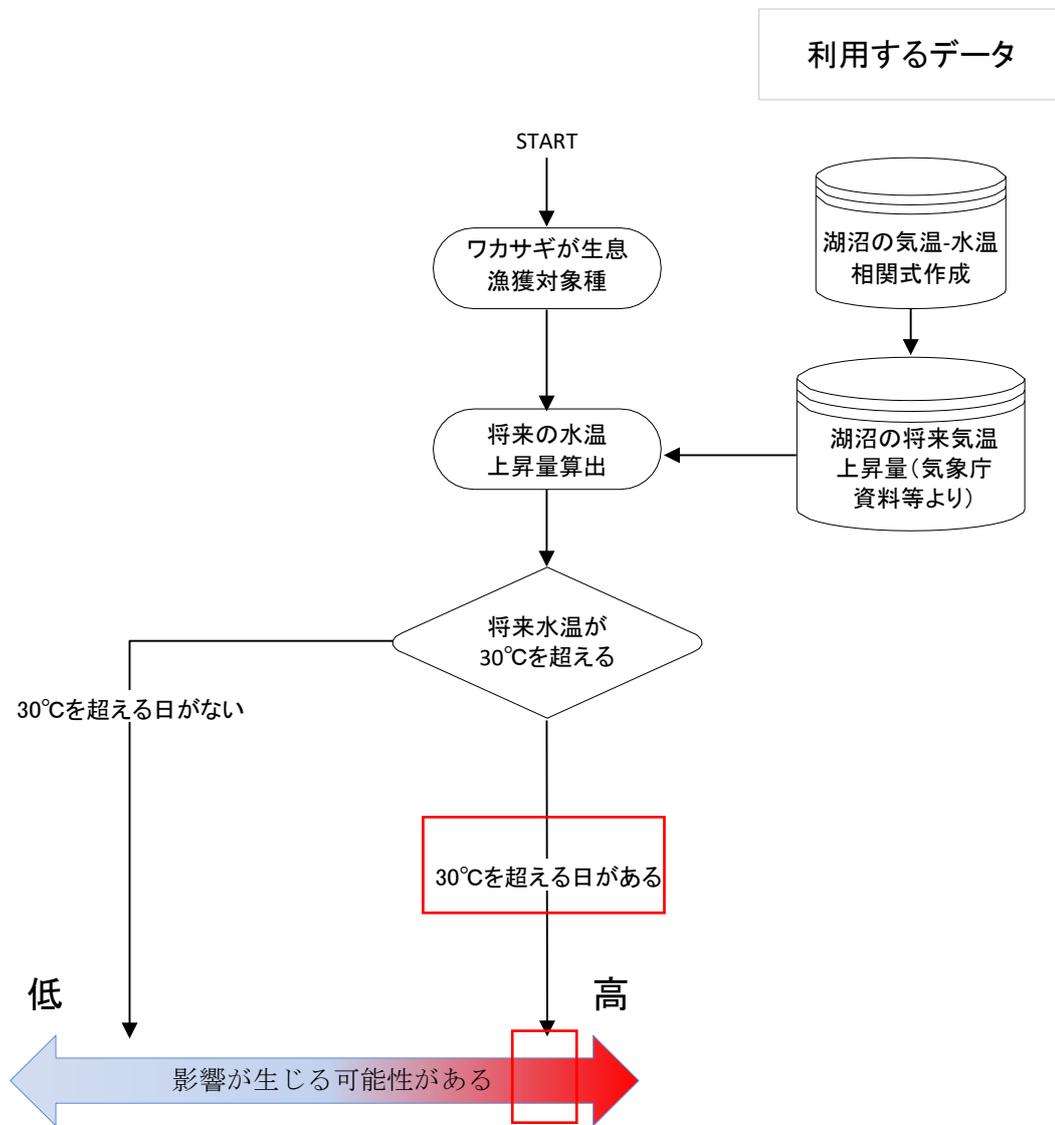
## (1) 気候変動による影響の検討と評価

### 1) 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響

水温上昇による冷水性魚類への影響については、図 1.5-12 のフローに従い、諏訪湖における気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響を検討する。

ワカサギを例にして影響評価を行い、影響が生じる可能性の有無を検討する。ワカサギでは、成魚の生息適水温の範囲が 0~30℃であることが既往文献から分かっているため、将来の水温が 30℃を超えるかどうかで、ワカサギの生息への影響を評価する。

なお、ワカサギ以外の種については、魚種によって水温変化の適性や高水温への耐性が異なるため、検討対象とする魚種の生態的知見を収集し、その種の生息適水温を把握できれば、同様な検討を行うことが可能である。



※赤枠：諏訪湖の検討結果

図 1.5-12 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響の検討フロー  
(影響評価の対象魚種をワカサギとした場合)

### A) 将来の水温上昇量算出

諏訪湖における将来の水温上昇量の算出結果を図 1.5-13 に示す。将来の気温上昇量 4.1℃ に対して、既往と水溫の相関式より、将来の水溫は最高に 30.7℃になる可能性がある。そのため、ワカサギの生活が可能である最高水溫としての 30℃を将来超える可能性はあると考えられる。

⇒【影響評価】気温上昇に伴う水溫上昇による冷水性魚類（ワカサギ）への影響が生じる可能性があると考えられる。

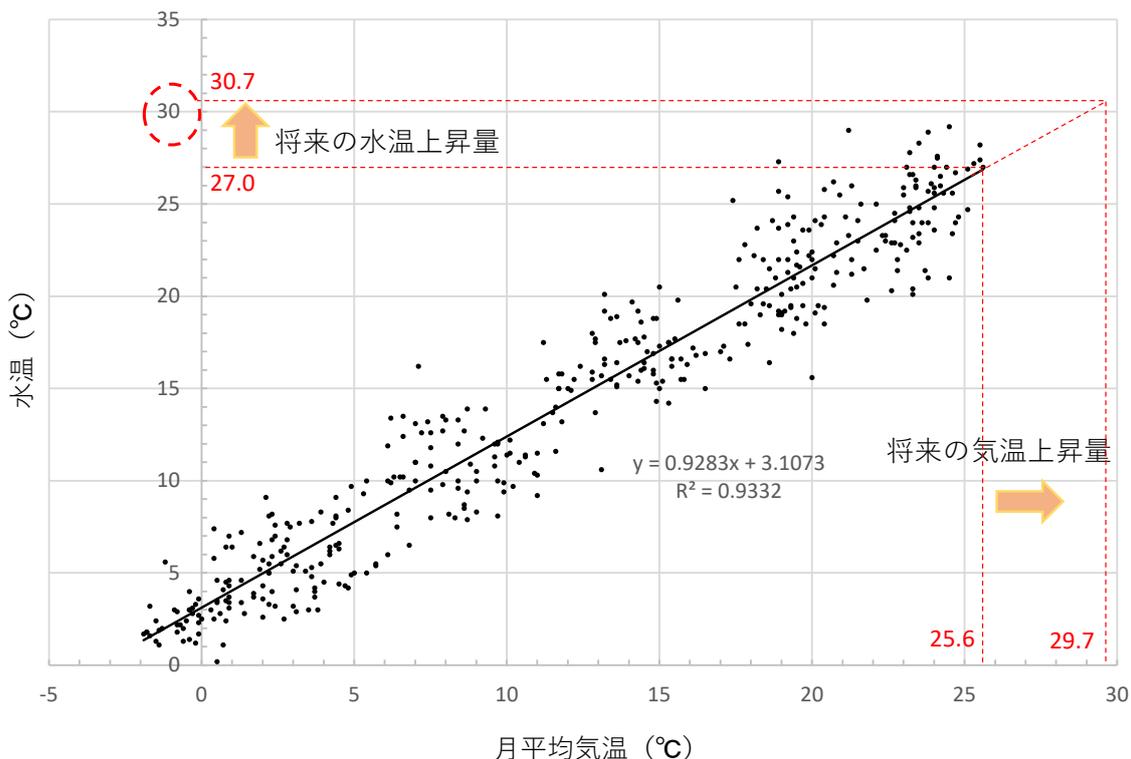


図 1.5-13 将来の水溫上昇量の算出

表 1.5-2 全国及び地域別の平均気温の変化

地域	年	春	夏	地域	秋	冬
全国	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	4.2 ± 0.5	全国	4.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9
北日本日本海側	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本日本海側	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.1
北日本太平洋側	4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.9	4.5 ± 0.7	北日本太平洋側	5.0 ± 0.8	5.5 ± 1.1
東日本日本海側	4.5 ± 0.6	4.1 ± 0.9	4.3 ± 0.6	東日本日本海側	4.7 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6	東日本太平洋側	4.5 ± 0.8	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.7 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本日本海側	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.9
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5	西日本太平洋側	4.3 ± 0.8	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.4	沖縄・奄美	3.5 ± 0.6	3.6 ± 0.8

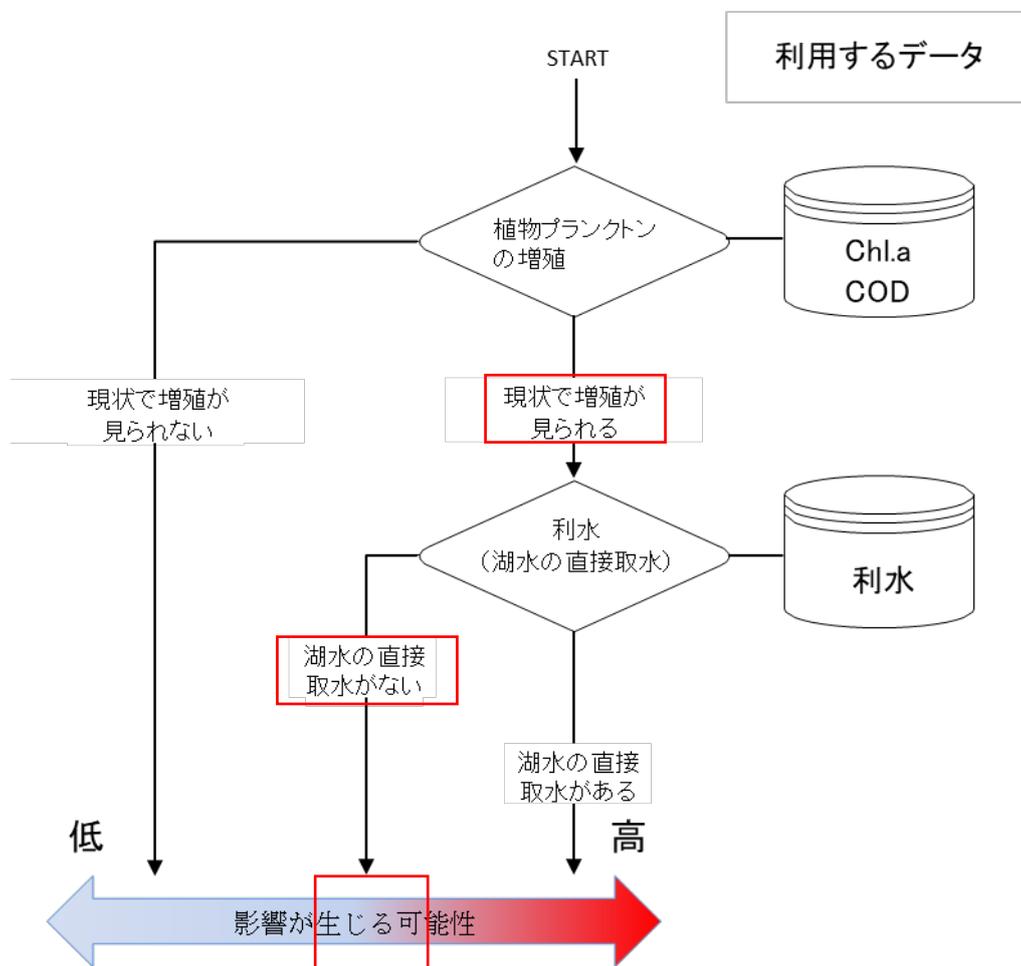
出典：気象庁 地球温暖化予測情報 第9巻 (2017年)

## 2) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響

図 1.5-14 のフローに従い、収集・整理したデータ・資料を踏まえて、諏訪湖における気候変動影響の可能性について整理する。

ここで、「植物プランクトンの増殖」が現状で生じているかを判断するために、COD の観測値を用いる (Chl.a データがあれば、直接的な植物プランクトン量の指標であるため、それを用いることでもよい)。特に、夏季の水温が上昇する時、アオコの原因藻類である藍藻類が増えると COD 濃度が上昇することから、そのような変化が生じているかどうかを確認する。

COD のデータは、公共用水域水質測定として各自治体を実施している調査結果から得ることができ、諏訪湖においては、長野県による調査結果データを使用した。



※赤枠：諏訪湖の検討結果

図 1.5-14 植物プランクトンの増殖の影響の検討フロー

### A) 諏訪湖における COD(植物プランクトン増殖の有無)

諏訪湖における長期的な COD 濃度の変化を下図示す。調査頻度の変更はあったが、諏訪湖では、ほぼ毎年、夏季に COD 濃度が上昇する傾向が見られている。これは植物プランクトンの増殖による影響であると考えられる。

⇒【影響評価】植物プランクトンの増殖があると判断される。

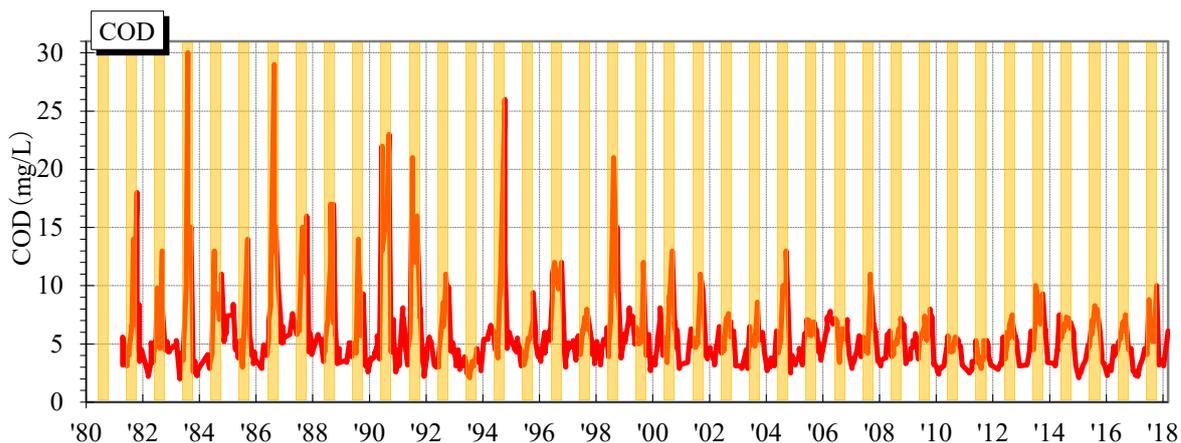


図 1.5-15 諏訪湖(湖心)における COD(表層)の変化(網掛けの期間は夏季)

### B) 諏訪湖における利水の状況

自治体ヒアリング結果から、諏訪湖では、湖水の直接的な取水・水利用はなく、水利権も設定されていない。流出河川の天竜川では、農業、発電、水道などの水利用がある。

⇒【影響評価】流出河川での利水取水があるため、気候変動による影響が生じる可能性があると考えられる。

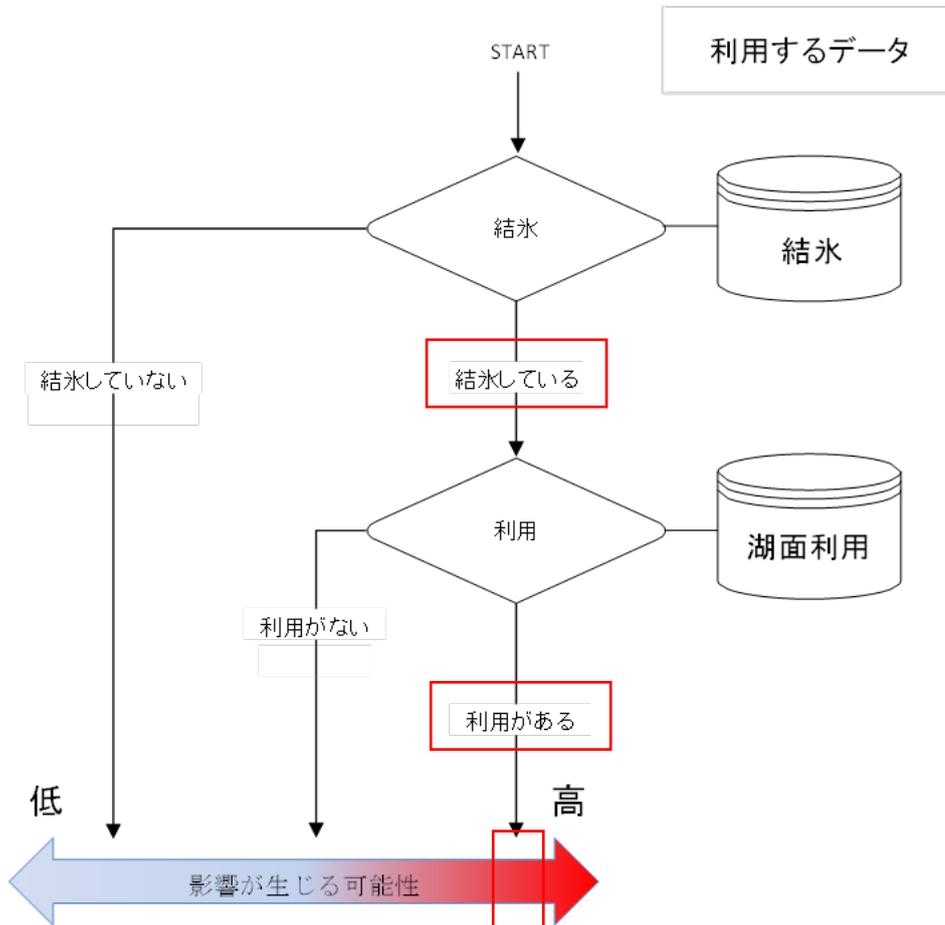
### C) その他想定される影響

その他に、ヒアリング結果等を踏まえて、植物プランクトンが増殖することで、考えられる諏訪湖への影響としては、次のことが挙げられる。

- ・ 内水面漁業があり、漁獲への影響、風評被害
- ・ 観光客が多数訪れる観光地であり、景観の悪化

### 3) 湖面結氷短期化による影響

湖面結氷短期化による影響については、図 1.5-16 のフローに従い、諏訪湖における「湖面結氷の有無」、「湖面の利用の有無」から検討する。



※赤枠：諏訪湖の検討結果

図 1.5-16 湖面結氷の短期化の影響の検討フロー

#### A) 諏訪湖における結氷

ヒアリングからの情報では、諏訪湖の冬季結氷（結氷する期間、氷の厚さ等）の情報・データは無いが、毎年結氷しているようである。なお、冬季に諏訪湖が全面結氷した数日後に湖氷が堤防上に盛り上がる「御神渡」の発生頻度が、1980年代末頃から激減しており、気候変動との関連が主たる要因と考えられるとの文献があった。（気候変動による諏訪湖「御神渡」発生頻度の激減 日本地理学会発表要旨集 2018）

⇒【影響評価】 冬季に湖面結氷する。

#### B) 湖面結氷の利用

地元のイベント（雪と氷の祭典）において、冬季に諏訪湖が全面結氷した数日後に湖氷が堤防上に盛り上がる「御神渡」は全国的にも有名である。

⇒【影響評価】 結氷に関する利用があり、気候変動によってこの利用に影響が生じる可能性が考えられる。

## (2) 影響評価を踏まえた適応策の検討

### 1) 既存計画および対策

長野県では、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼として指定された諏訪湖について、平成 29 年度を計画期間の初年度とする「諏訪湖に係る第 7 期湖沼水質保全計画」（第 7 期諏訪湖水質保全計画）を平成 30 年 3 月に策定した。主な水質保全施策を下記に示す。

表 1.5-3 諏訪湖の水質保全のために重点的に進める施策

区分	主な取組
生活排水対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 下水道整備や浄化槽の設置</li> </ul>
湖沼の浄化対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 栄養塩類を吸収した水草の除去、ヒシの繁茂抑制</li> <li>・ 覆砂</li> </ul>
流入河川等の浄化対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多自然川づくりの推進</li> <li>・ 沈殿ピットによる栄養塩類を含む土砂の除去</li> <li>・ 植生水路による栄養塩類の除去</li> </ul>
流出水対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市街地対策 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 雨水貯留、沈殿施設による市街地排水処理</li> <li>➢ 道路路面、側溝、水路等の清掃の実施</li> </ul> </li> <li>・ 農地対策 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 土壌診断に基づく過剰施肥の防止、局所施肥技術の普及</li> <li>➢ 減肥栽培技術の導入、環境にやさしい農業への取組拡大</li> <li>➢ 環境にやさしい農産物認証への取組支援、エコファーマーの認定</li> <li>➢ 水路の泥上げ・補修、草花の植栽、農道の保全管理</li> <li>➢ 環境農業により生産された農産物の優先的な選択と地域内での流通の促進</li> </ul> </li> <li>・ 自然地域対策 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 間伐を中心とした森林整備の推進</li> <li>➢ 伐採、再造林による土壌侵食や崩落による汚濁負荷の流出防止</li> </ul> </li> </ul>
その他水質保全のために必要な措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貧酸素対策の推進 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 底層溶存酸素量（底層 DO）の環境基準の類型当てはめ</li> <li>➢ 湖岸域の対策（ヒシ除去、覆砂 等）</li> <li>➢ ゾーニング等により、重点的に貧酸素を解消するエリアの設定</li> <li>➢ 貧酸素に関する調査・研究の実施</li> </ul> </li> <li>・ 調査研究の推進 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 諏訪湖を一体的・総合的に調査研究する体制を整備することなどを目的とした、</li> <li>➢ 諏訪湖環境研究センター（仮称）の設置について検討</li> </ul> </li> </ul>
流出水対策地区における流出水対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「上川・宮川流域」を第 6 期湖沼計画に引き続き流出水対策地区として指定</li> <li>・ 全窒素濃度の高い「宮川」の本川、支川の水質調査などを実施し、土地利用状況に応じた流出水対策を検討</li> </ul>

## 2) 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響に対する適応策

水温が 30℃を超えることに対して、表 1.5-4 のような適応策が考えられる。

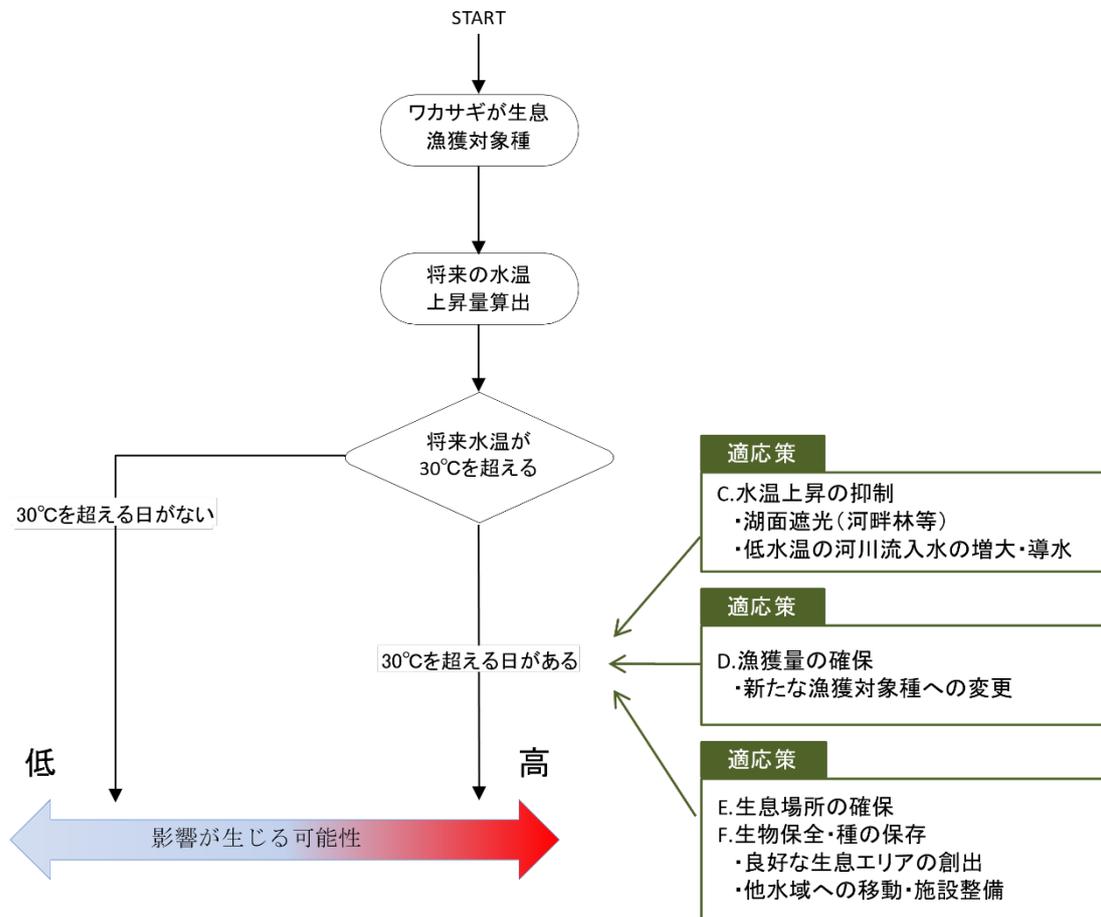


図 1.5-17 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響に対する適応策の検討フロー

表 1.5-4 気温上昇に伴う水温上昇による冷水性魚類への影響に対する適応策の例

適応策の視点	適応策メニュー		既存対策の有無	既存対策の対応力	適応策の方向性
C.水温上昇の抑制	4	湖面遮光 ・浮島等 ・河畔林 ・水生植生帯整備		モニタリング、 対策の検討が 必要	対策検討、モ ニタリング
	5	河川水等の導水(低温である湧水や渓流水)			
D.漁獲量の確保	6	稚魚放流量の増加			
	7	漁獲量の管理			
	8	新たな漁獲対象種への変更			
E.生息場所の確保	9	生息環境に適した新たな生息エリアの創出			
	10	種の保存のための他水域への移動、施設整備			
F.生物保全、種の保存	11	産卵、繁殖場の創出			
	12	種の保存のための他水域への移動、施設整備			
	13	産卵等生息環境に配慮した湖水位管理(変動)			

### 3) 植物プランクトンの増殖(富栄養化)による利水への影響に対する適応策

諏訪湖の特徴から、抑制すべき要因として、「水温上昇」「流入負荷量の増加」「水の滞留」が該当し、これらへの対応が適応策として考えられる。

なお、利水について諏訪湖では取水はあるが、現状で浄水処理はされていないため、浄水処理の能力不足に対する適応策は選定しないこととする。

以上を踏まえて、諏訪湖において適用性が考えられる適応策オプションは次ページの表 1.5-5 の通りである。

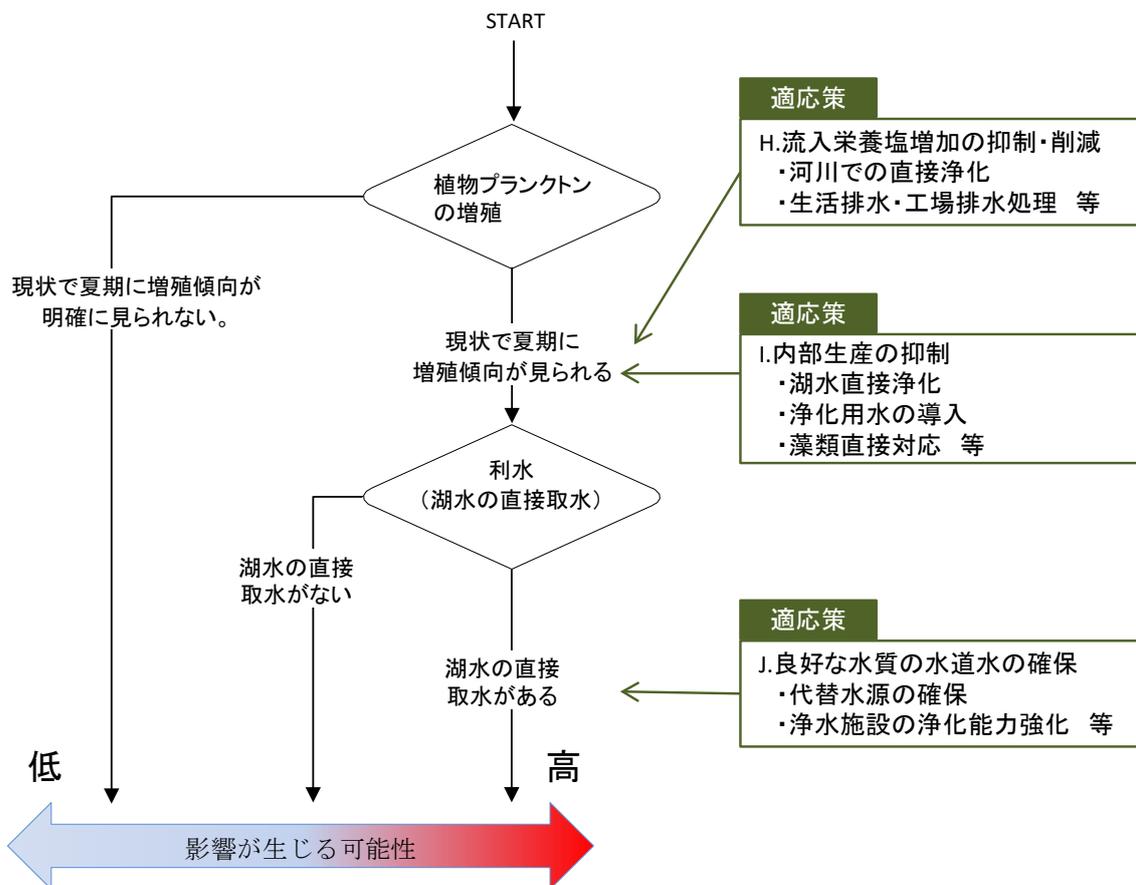


図 1.5-18 植物プランクトンの増殖による利水への影響に対する適応策の検討フロー

表 1.5-5 諏訪湖における植物プランクトン増殖と、利水影響に対する適応策の例

適応策の視点	適応策メニュー	既存対策の有無	既存対策の対応力	適応策の方向性
H. 流入栄養塩増加の抑制・削減	15 河川での直接浄化		既往対策を継続するとともに、モニタリングを継続し、状況に応じて対応方策を見直す	既存対策の強化
	沈澱			
	ろ過、接触酸化			
	植生による浄化	○		
	底泥浚渫			
	16 生活排水処理			
	下水道整備、下水処理場の高度化(窒素りん除去)	○		
合流式下水道の改善				
窒素りん除去型の高度処理型合併処理浄化槽設置				
17 環境保全型農業の実施(負荷低減)	○			
18 工場・事業場等、排水基準の強化				
19 市街地、道路等からの面源負荷削減(雨水流出抑制、路面・側溝清掃等)	○			
I. 内部生産の抑制	20 曝気等による水の流動促進			
	浅層曝気			
	全層曝気			
	流動促進装置による流動化			
	浄化用水の導入(流動化、希釈)			
	21 プランクトン増殖抑制を考慮した湖水の放流、水位管理			
	22 湖内での直接浄化			
	接触酸化			
	土壌浄化			
	植生浄化			
凝集処理				
23 水生植生帯の整備	○			
24 藻類の除去				
	衝撃殺藻、紫外線殺藻等			
	吸引等による直接除去			
25 漁獲による栄養塩の系外除去				
J. 良好な水質の水道水の確保	26 代替水源の確保			
	27 脱臭処理の強化(活性炭の準備)			
	28 浄水施設の浄化能力強化			
	29 局所的な清澄水域の確保(フェンス等)			
	30 水面利用方法の変更検討			

#### 4) 湖面結氷短期化による影響に対する適応策

諏訪湖では冬季の湖面結氷より全国有名な「御神渡り」などの観光資源があることから、気候変動により結氷が短期化し、現状の利用ができなくなることに對して、表 1.5-6 のような適応策が考えられる。

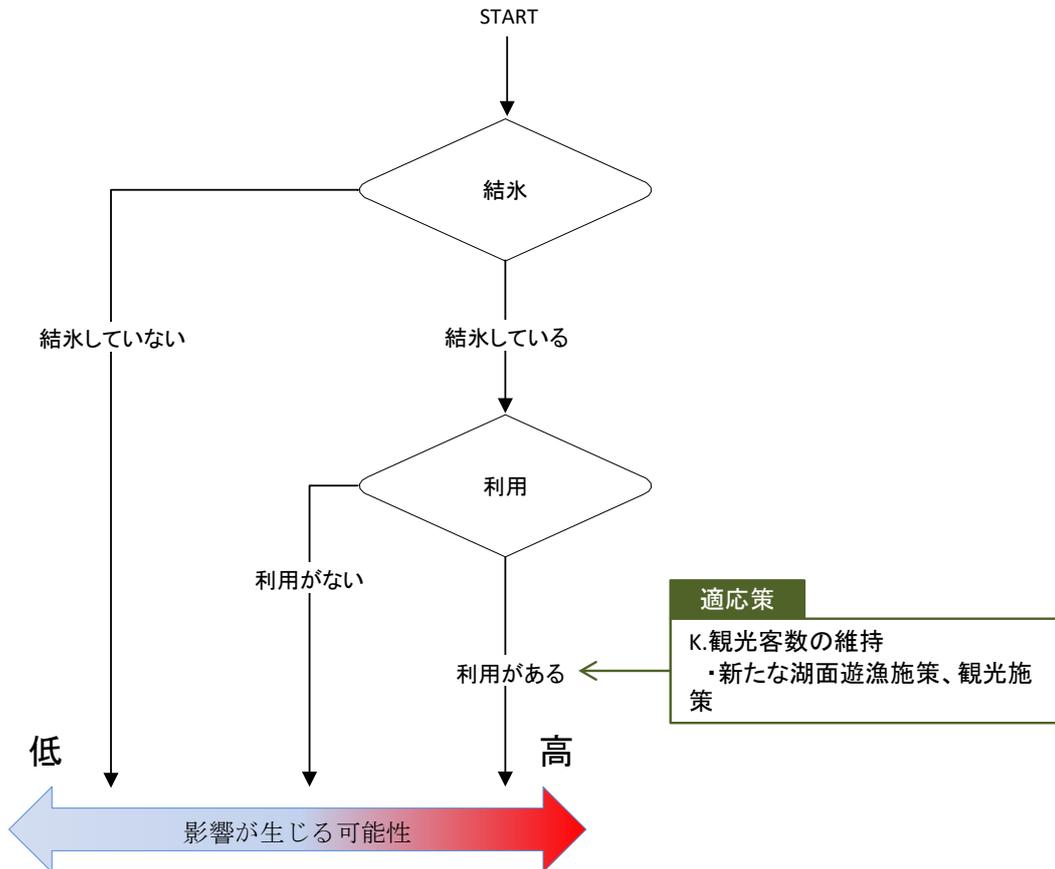


図 1.5-19 湖面結氷の短期化影響に対する適応策の検討フロー

表 1.5-6 諏訪湖における湖面結氷短期化の影響に対する適応策の例

影響要素	抑制すべき要因	適応策オプション	適用性
結氷した湖面の利用（氷の利用）ができなくなる	利用（観光）人数の減少	・他の地域観光資源（イベント）への移行	○
		・他の湖沼等からの氷の輸送	
		・湖面の利用方法の転換	○
湖面結氷しなくなる	冬期水温上昇の抑制	—	