

## 5 3-3 気候変動による三方五湖の淡水生態系等に与える影響調査

### 5.1 概要

#### 5.1.1 背景・目的

気候変動に伴う気象の変化、海水面の上昇等により、将来的に三方五湖の水質等の環境が変化する可能性が懸念されている。湖の水質や水温等の変化は、ヒシ<sup>※4</sup>等の水生植物の生育状況やシジミ等の水産業に影響を及ぼす可能性がある。また、ヒシの繁茂状況の変化は、生息生物の多様性に変化を与える可能性が示唆されている。

本調査では、将来的な気候変動による影響予測を行い、モニタリング方法や管理方法等の適応策を検討した。

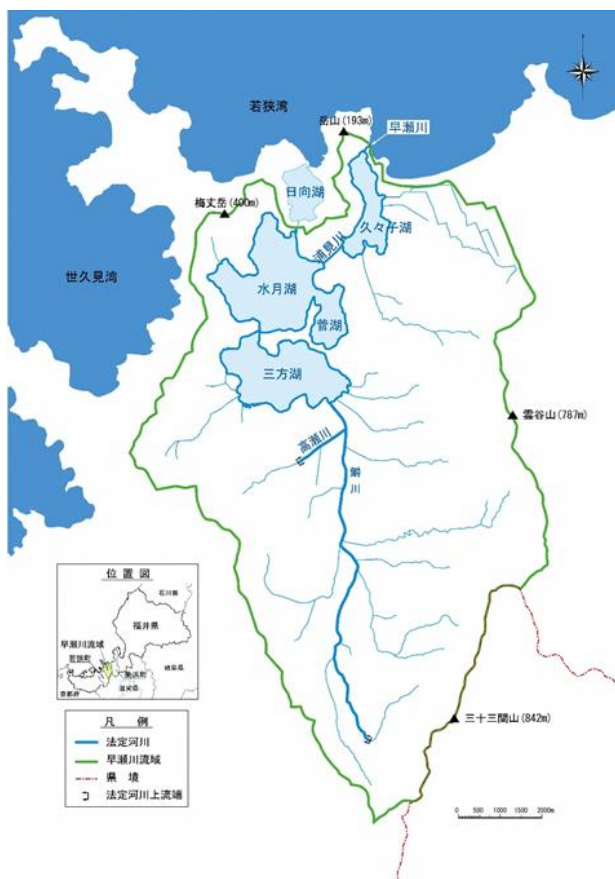


図 5-1 三方五湖(はす川流域)  
(福井県河川課作成)

#### 5.1.2 実施体制

本調査の実施者：一般財団法人日本気象協会、日本ミクニヤ株式会社

アドバイザー：総合地球環境学研究所・東京大学 准教授 吉田丈人

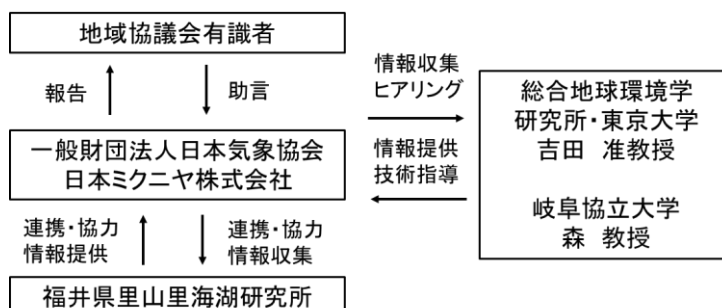


図 5-2 実施体制図(調査項目 3-3)

<sup>4</sup> ヒシ科の一年草。池沼に生育し、葉が水面に浮く浮葉植物。

### 5.1.3 実施スケジュール(実績)

本調査では、平成 29 年度から平成 31 年度の 3 年間で、対象地域において、気候変動による塩分の変化が対象種(ヒシ、シジミ)に与える影響を調査し、将来の影響評価及び適応策の検討を行った(図 5-3)。

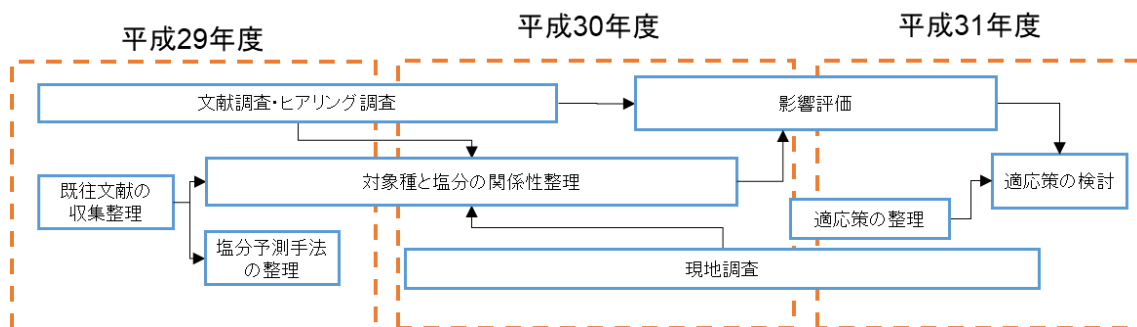


図 5-3 本調査の実施フロー(調査項目 3-3)

### 5.1.4 気候シナリオ基本情報

影響調査において使用した気候シナリオの基本情報を表 5-1 に示す。

表 5-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-3)

項目	三方湖及び久々子湖の塩分	
気候シナリオ名	NIES 統計 DS	海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 <sup>*5</sup>
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5	MRI-CGCM3
気候パラメータ	降水量	海面水位
排出シナリオ	RCP2.6 及び 8.5	RCP8.5 <sup>*6</sup>
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末 / 月別	
バイアス補正の有無	有り(全国)	無し(現在との差分を利用)

#### 5.1.4.1 降水量

本調査では、河川流入と、湖直上の降水による真水の量の変化を確認するため、平均的な降水量の変化を確認した。なお、三方五湖に流れ込むはす川は三方湖の上流 10 km 程度と比較的短いことから、河川流入及び湖直上の降水は双方とも、同地域への降水に大きく依存すると仮定した。本調査で利用した MRI-CGCM3 の気候シナリオでは、21 世紀中頃、21 世紀末とも、現在と将来の月平均降水量に大きな変化は見られなかった。

<sup>5</sup> 海面水位の予測には、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均の海面上昇値も利用した。

<sup>6</sup> 21 世紀中頃は RCP8.5 のみ、21 世紀末は RCP2.6 と RCP8.5 がある。

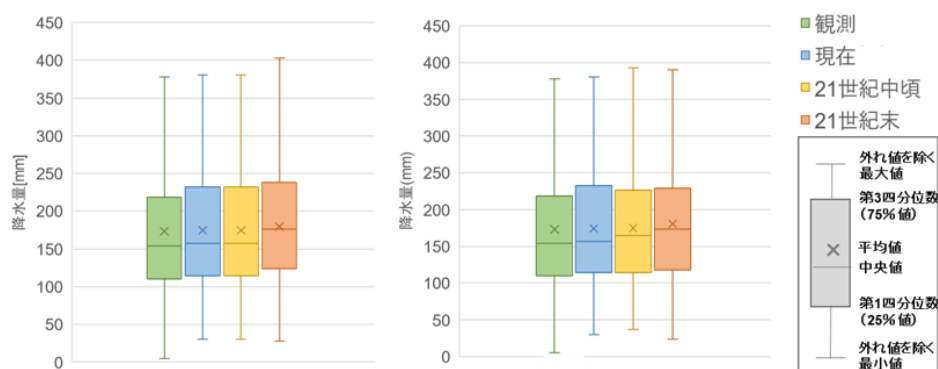


図 5-4 降水量の変化(MRI-CGCM3; 左図:RCP2.6、右図:RCP8.5)

#### 5.1.4.2 海面水位

RCP8.5 の 21 世紀末では、日平均海面水位の年間変化幅(約 70cm)とほぼ同程度の海面上昇が予測されることが分かった(図 5-5)。前述の通り、真水の流入源である降水量の将来変化が小さいことから、本調査では、海面水位の上昇を中心に影響を確認することとした。なお、蒸発による定量的な影響は観測値が少ないことから詳細な検討は実施していないが、定性的には気温上昇により蒸発量が増加し、塩分が上昇する傾向であると考えられる。このため、海面上昇による塩分増加の傾向と一致している。

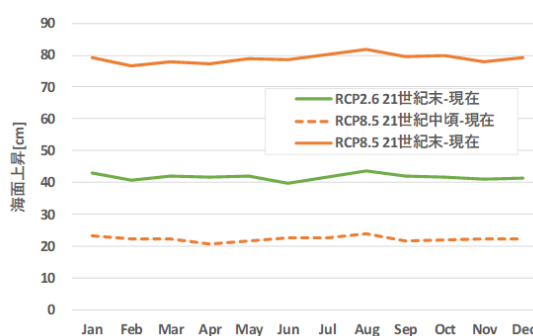


図 5-5 若狭湾の海面水位上昇

海面水位は海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 (MRI-CGCM3) の値に、IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均海面水位上昇を足し合わせた値。

#### 5.1.5 気候変動影響予測結果の概要

本調査では、海面上昇等により将来の変化が想定される各湖の塩分に着目し、影響評価を実施した。湖の塩分は、主に若狭湾からの海水の流入、はす川を主とした河川及び湖直上の降水による真水の流入、蒸発のバランスにより決定される。この中で、塩分に及ぼす影響が大きいと考えられる、河川流入及び湖直上への降水に寄与する降水量の将来変化と、海水流入に寄与すると考えられる海面水位の将来変化を確認した。

##### 5.1.5.1 三方湖におけるヒシの生育

塩分がヒシの生育に大きな影響をあたえる発芽期において、5psu 以上の塩分が長期的に続くと、ヒシの生育に向かないとされている(Nishihiro et al. 2014)。ただ、現在ヒシの繁茂が問題となっている三方湖で、5psu の塩分が観測される頻度は少なく、統計に十分な観測デ

ータが確保できない。このため、本調査ではサンプル数がある程度確保できる 5 月～7 月の 0.08psu 以上の塩分の海面水位ごとの割合を図 5-6(左図)に示した。観測値の結果からも、海面水位が高くなれば若狭湾から、久々子湖、水月湖を経た三方湖でも塩分が高くなる傾向にあることが分かる。ヒシへの影響の大きい 5psu 程度の塩分では定量的な頻度には至っていないが、定性的には 0.08psu と同様の値を示すと考えられ、将来的に塩分上昇、またそれに伴うヒシの減少に繋がることが推定される。ヒシの減少は、漁業者の航路が阻害されないなど好影響も想定される一方、湖内の生物多様性での観点も懸念される。

### 5.1.5.2 久々子湖におけるシジミの生息

三方湖と同様に、塩分がシジミの生息に大きな影響をあたる発芽期(ここでは 6 月～10 月の値を用いた)において、10psu 以上の塩分の示す割合を図 5-6(右図)に示した。ヤマトシジミへの影響の大きい塩分(13psu 程度)は観測値での発生頻度が低く、定量的な頻度には至っていないが、定性的には将来的な塩分上昇がされ、それに伴うシジミの生息域の減少が懸念される。

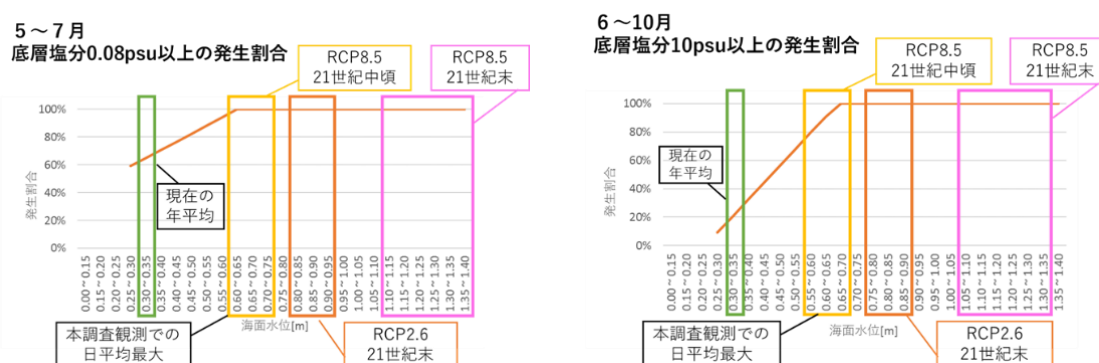


図 5-6 海面水位の変動と塩分(左図:三方湖、右図:久々子湖)

海面水位は海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 (MRI-CGCM3) の値に、IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均海面水位上昇を足し合わせた値。

### 5.1.6 活用上の留意点

海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 は、氷床融解や熱膨張の影響が含まれていない。そのため、本調査では海面水位の将来予測として、局所的な影響を考慮するため、全球平均の予測と海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 による予測の若狭湾の値を足し合わせて使用した。また、今回の対象地点は均質的な継続的観測がないことから、限られた観測値による統計的な推定であり、将来変化の推定には不確実性が大きいことを留意する必要がある。

### 5.1.7 適応オプション

適応オプションを表 5-2 に、その根拠を表 5-3 に示す。

表 5-2 適応オプション(調査項目 3-3)

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現ま での 時間	期待 される 効果の 程度
モニタリング (塩分、水温)	●	●		普及が進ん でいる	特になし	△	○	△	◎	短期	中
浅場造成	●	●		普及が進ん でいる	複合的な影響 が考えられる	△	○	△	◎	短期	高
ヒシ適正管理	●	●	●	普及が進ん でいる	特になし	△	○	△	◎	短期	高

表 5-3 適応オプションの根拠(調査項目 3-3)

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
モニタリング (塩分、水温)	塩分、水温のモニタリングは一般的に広く行われている手法を想定している。
浅場造成	三方五湖自然再生協議会、自然護岸再生部会、シジミのなぎさ部会で実施を検討している。
ヒシ適正管理	三方湖におけるヒシ管理の技術的指針は、三方湖ヒシ対策ガイドライン(2016)で示されている。

## 5.2 気候シナリオに関する情報

### 5.2.1 気候シナリオ基本情報

影響調査において使用した気候シナリオの基本情報を表 5-4 に示す。

表 5-4 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-3):再掲

項目	三方湖及び久々子湖の塩分	
気候シナリオ名	NIES 統計 DS	海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 <sup>*7</sup>
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5	MRI-CGCM3
気候パラメータ	降水量	海面水位
排出シナリオ	RCP2.6 及び 8.5	RCP8.5 <sup>*8</sup>
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末 / 月別	
バイアス補正の有無	有り(全国)	無し(現在との差分を利用)

<sup>7</sup> 海面水位の予測には、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均の海面上昇値も利用した。

<sup>8</sup> 21 世紀中頃は RCP2.6 のみ、21 世紀末は RCP2.6 と RCP8.5 がある。

## 5.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

### 5.2.2.1 降水量

本調査では、河川流入と、湖直上の降水による真水の量の変化を確認するため、平均的な降水量の変化を確認した。なお、三方五湖に流れ込むはす川は三方湖の上流 10 km 程度と比較的短いことから、河川流入及び湖直上の降水は双方とも、同地域への降水に大きく依存すると仮定した。本調査で利用した MRI-CGCM3 の気候シナリオでは、21 世紀中頃、21 世紀末とも、現在と将来の月平均降水量に大きな変化は見られなかった。(図 5-7)。

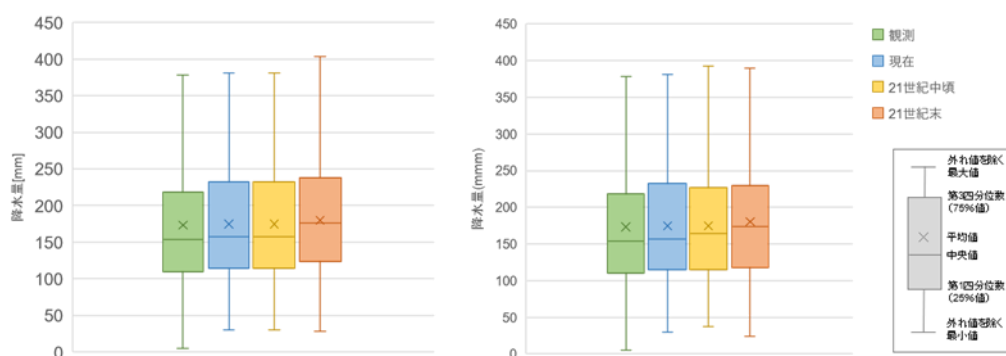


図 5-7 降水量の変化(MRI-CGCM3; 左図:RCP2.6、右図:RCP8.5)

### 5.2.2.2 海面水位

海面水位の将来予測には、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書 (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate、SROCC) による全球平均の海面水位上昇、海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CATver.1 の海面水位上昇(将来の海面水位から現在の海面水位の差分)、現在の観測潮位から求めた。海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CATver.1 の海面水位上昇を図 5-8 に示す。この気候シナリオには、氷床の融解や熱膨張の影響は含まれていないため、実際の利用には、全球平均の海面水位上昇分の追加が必要となる。

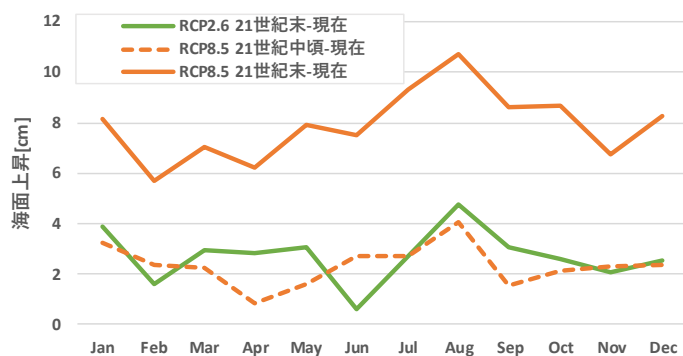


図 5-8 海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ  
by SI-CATver.1 (MRI-CGCM3) の海面水位上昇

RCP8.5 の 21 世紀末では、海面水位の年間変化幅(約 70cm)とほぼ同程度の海面上昇が予想されることが分かった(図 5-9)。前述の通り、真水の流入源である降水量の将来変化が小さいことから、本調査では、海面水位の上昇を中心に影響を確認することとした。なお、蒸発による定量的な影響は観測値が少ないことから詳細な検討は実施していないが、定性的には気温上昇により蒸発量が増加し、塩分が上昇する傾向であると考えられる。

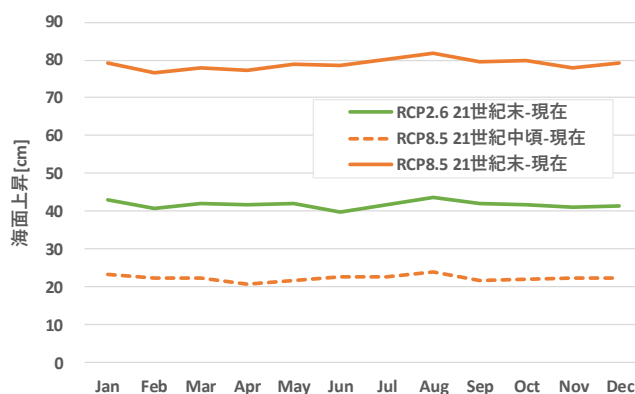


図 5-9 若狭湾の海面水位上昇

海面水位は海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 (MRI-CGCM3) の値に、IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均海面水位上昇を足し合わせた値

### 5.2.3 気候シナリオに関する留意事項

本調査では、氷床融解や熱膨張が考慮されていないものの、北太平洋領域を詳細に計算した海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CATver.1 と、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書による多数のモデルの結果を総合的に利用した全球平均の海面水位上昇を足し合わせて使用している。それぞれの不確実性について、考慮する必要がある。

### 5.2.4 バイアス補正に関する情報

本調査独自のバイアス補正は、行っていない。

### 5.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査では、降水量については平均的な環境を評価するため、統計的ダウンスケーリングの降水量を有する NIES 統計 DS を使用した。また、海面水位は日本域の将来の海流変化に伴う水位変化が得られる海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CATver.1 を使用した。

## 5.3 気候変動影響に関する調査手法

### 5.3.1 手順

本調査の実施フローを図 5-10 に示す。

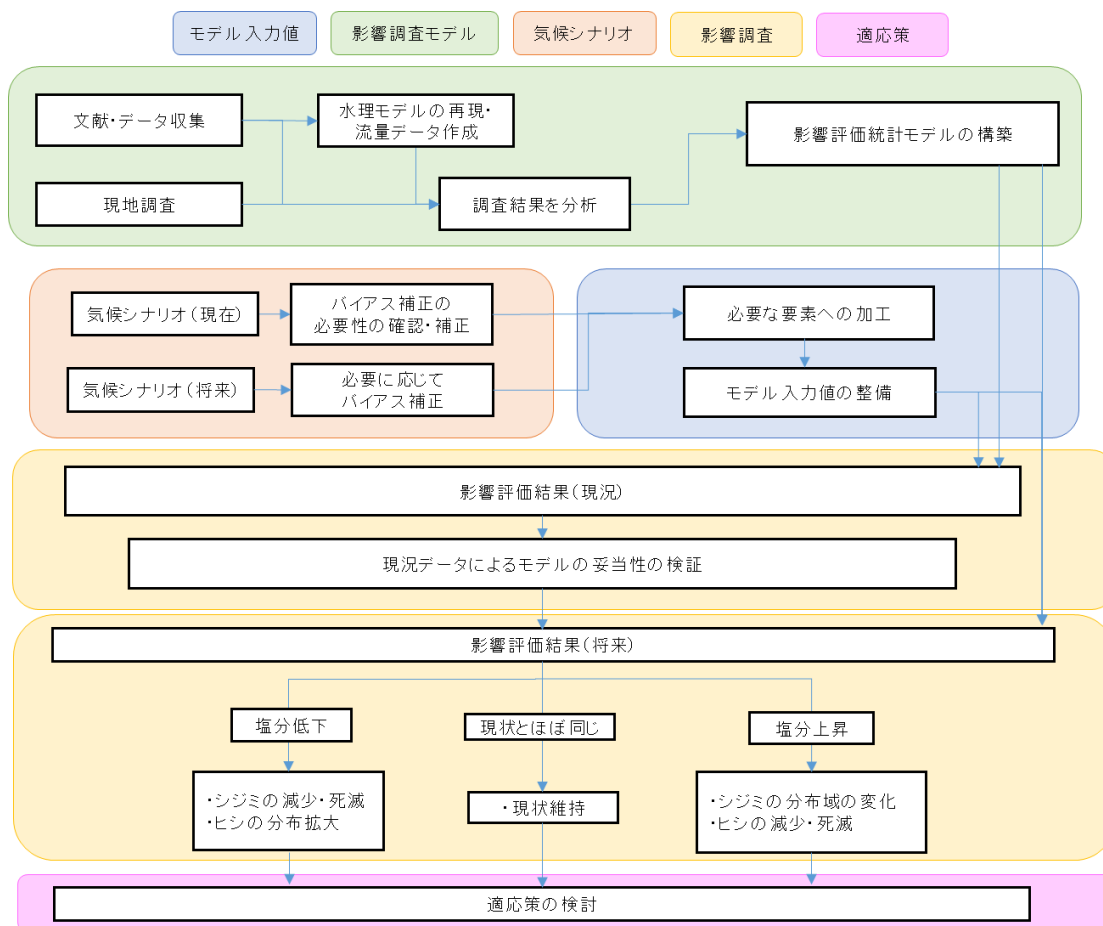


図 5-10 本調査の実施フロー(調査項目 3-3)

### 5.3.2 使用したデータ・文献

本調査で使用したデータを表 5-5 に、文献を表 5-6 に示す。

表 5-5 使用したデータ

収集データ		出典・提供元
塩分	三方湖 水月湖 久々子湖	本調査による観測
水温		
降水量	美浜(特別値)	気象庁 HP
潮位	舞鶴(特別値)	気象庁 HP



表 5-6 使用した文献

収集データ		出典・提供元
ヒシ	適正塩分環境(全般)	山室(2014)
	適正塩分環境(発芽期)	Nishihiro et al. (2014)
シジミ	シジミの生態ほか	宮本康(2019)
	適正塩分環境(発生)	リバーフロント整備センター(1996)
	適正塩分環境(着底)	石飛(2014)
	適正塩分環境(成貝)	山本ら(1996)
三方湖、菅湖、 水月湖、久々子湖	湖面積、流域面積	石黒・大西(1986)
浦見川、早瀬川	粗度係数、平均水路幅、 水路長、平均水路底標高	
湖面蒸発量	菅湖、久々子湖	Yamamoto(1972)

### 5.3.3 有識者ヒアリング

本調査では以下のヒアリングを実施した。

表 5-7 (1) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-3)

NO.	1
ヒアリング対象者	福井県里山里海湖研究所 研究員 石井潤氏 福井県里山里海湖研究所 研究員 宮本康氏
日付	2018 年 4 月 20 日 10:30～12:00
場所	福井県里山里海湖研究所
概要	三方五湖での現地調査の内容及び手続き等について確認を行うと共に、既往データ等との相違点等の知見を得た。

NO.	2
ヒアリング対象者	東京大学 准教授 吉田丈人氏
日付	2018 年 5 月 11 日 11:00～12:20
場所	東京大学 駒場キャンパス
概要	三方五湖に関する過去の研究の知見及び過去のヒシの調査結果を共有頂くと共に、三方五湖再生協議会の活動状況の情報を得た。

表 5-7 (2) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-3)

NO.	3
ヒアリング対象者	福井県里山里海湖研究所 研究員 石井潤氏 福井県里山里海湖研究所 研究員 宮本康氏
日付	2019 年 3 月 27 日
場所	電話会議（里山里海湖研究所－日本気象協会）
概要	過去の人為的な要因による三方五湖の高塩分時期の生態系への影響等、過去の歴史的変遷に関する資料を紹介して頂いた。また、適応策の検討のため、現在の三方湖でのヒシの刈り取り事業の状況の情報も伺った。

NO.	4
ヒアリング対象者	福井県里山里海湖研究所 研究員 石井潤氏 福井県里山里海湖研究所 研究員 宮本康氏
日付	2019 年 5 月 8 日 12:15～14:00
場所	福井県里山里海湖研究所
概要	実際の三方五湖での高塩分環境時のヒシ及びシジミの生態についての情報を得たと共に、ヒシの刈り取りやシジミの浅場造成など適応策の検討を行った。

#### 5.3.4 観測および実証実験

三方五湖は塩分、水温等の連続観測が実施されておらず、既存の調査結果でも、調査ごとに条件が設定されている。特に塩分のデータは非常に少ないことから、2018 年 5 月から 2019 年 10 月にかけて、久々子湖、水月湖、三方湖の 3 つの湖において、塩分及び水温について連続観測および鉛直観測を行った。また、2018 年夏季にそれぞれの湖において、底生生物の調査を行った。

##### 5.3.4.1 塩分及び水温調査

###### ア. 調査概要

塩分の変動の把握を目的として、久々子湖、水月湖、三方湖において、塩分及び水温の観測を実施した。塩分及び水温の観測状況を表 5-8 及び表 5-9 に示す。

表 5-8 塩分及び水温観測の観測状況

	連続観測	鉛直観測
観測期間	2018 年 5 月 25 日～2020 年 10 月 17 日	2018 年 5 月 25 日から月 1 回程度
観測間隔	1 時間毎	月 1 回程度
観測要素	塩分・水温	塩分・水温
観測層	久々子湖・三方湖:表層及び底層 水月湖:表層、中層及び底層	水面から 0.1m おき

表 5-9 塩分及び水温の観測地点

	久々子湖	水月湖	三方湖
位置	東経 135° 54′ 23.56” 北緯 35° 36′ 01.13”	東経 135° 52′ 42.21” 北緯 35° 34′ 36.81”	東経 135° 53′ 02.59” 北緯 35° 34′ 02.70”
水深	1.9m	9.8m	2.0m
観測層	表層:水面-0.5m 底層:川底+0.5m	表層:水面-0.5m 中層:川底+7.3m 底層:川底+1.0m	表層:水面-0.5m 底層:川底+0.5m



図 5-11 三方五湖での塩分および水温の観測場所

#### 5.3.4.2 水理モデルの構築

本調査では、湖間の流出入の関係を、石黒・大西(1986)による 2 段貯水池モデル(図 5-12)を用いて計算し、海面水位や降水量と湖間の流入の関係を確認した。このモデルでは、はす川から早瀬川までの湖を三方湖・水月湖・菅湖の 3 つと、久々子湖の 2 つに分け

た貯水池型モデルに簡略化し、各湖への流量や降水量、潮位から、それぞれの湖の水位や湖間の流量の関係が計算できる。

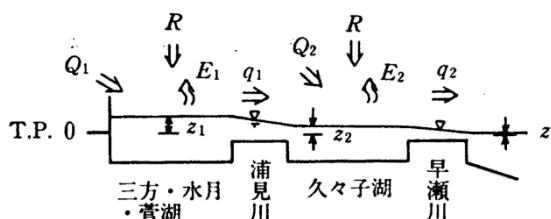


図 5-12 2 段貯水池モデル(石黒、大西、1986 より)

$Q_1, Q_2$ : 三方湖・水月湖・菅湖及び久々子湖への河川流入量  
 $R$ : 降水量  $E_1, E_2$ : 蒸発量  $q_1, q_2$ : 浦見川、早瀬川の河川流量  
 $z_1, z_2, z_3$ : 三方湖・水月湖・菅湖、久々子湖及び若狭湾の水位

### 5.3.5 気候変動影響予測手法の検討

三方五湖内の塩分メカニズムを明らかにするために、若狭湾から流入する塩水(海水)の流入と、各湖への降水(淡水)、はす川からの流入(淡水)が塩分に与える影響を解析した。検討のフローを、図 5-13 に示す。気候シナリオの検討から、三方五湖内への降水(淡水)、はす川からの流入(淡水)、蒸発の将来変化は小さいことが推定されたため、塩分の将来の影響評価の検討には、海面水位の変化のみを用いることとした。

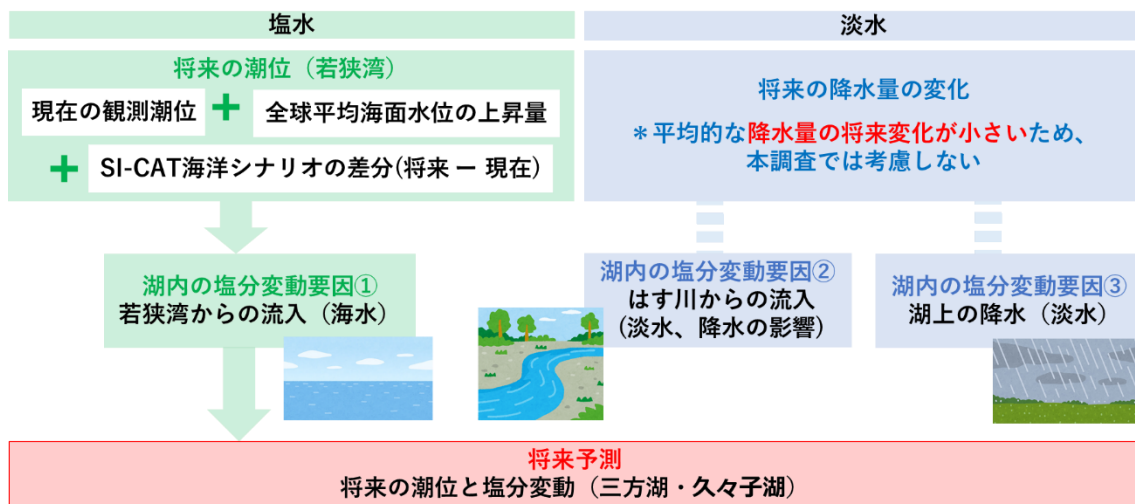


図 5-13 影響予測検討におけるフロー

### 5.3.6 影響予測モデルに関する情報

本調査では、モデル作成に必要な塩分等の観測値が限定的であることから、現在一定以上の観測値が取得できる塩分での解析を行い、将来の傾向を定性的に適用する手法を用いた。

まず、久々子湖でヤマトシジミの生息に影響を与える夏季の塩分を解析し、一定程度のデータ量がある 10psu を閾値として、閾値を超える日数と下回る日数に分け、舞鶴の海面水位との関係を調査した(図 5-14)。日数で見ると海面水位が低いときに、塩分が高くなることが多いが、湖内の流れが安定的な際に高塩分である重い水が湖の底に沈みこんだケースも含むと考えられることから、一定以上の海面水位のケースのみに絞って、海面水位毎の閾値の超過割合を確認した(図 5-15)。ここで得られた潮位ごとの超過割合の傾向を、将来の海面水位に当てはめて影響を評価した。

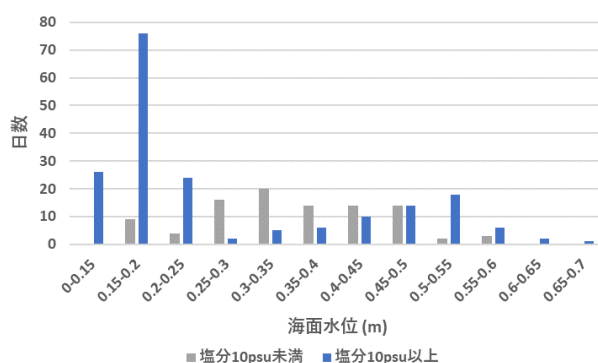


図 5-14 久々子湖の各潮位における塩分 0.08psu 以上(未満)の日数

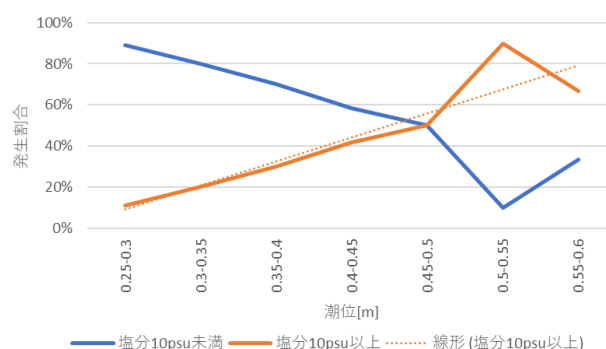


図 5-15 久々子湖の各海面水位における塩分 10psu 以上(未満)の発生割合

次に、三方湖のヒシの生育への影響について、久々子湖のシジミと同様に解析を行った。解析対象時期は、ヒシの生育に大きな影響を与える春から初夏とし、閾値は 0.08psu とした(図 5-16)。久々子湖と同様、一定以上の海面水位のケースのみでの海面水位毎の閾値の超過割合を確認し(図 5-17)、影響を評価した。

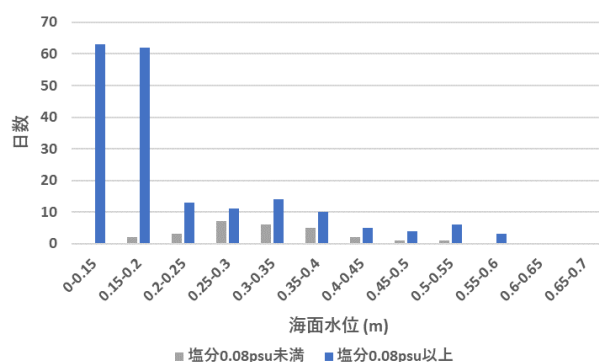


図 5-16 三方湖の各潮位における塩分 0.08psu 以上(未満)の日数

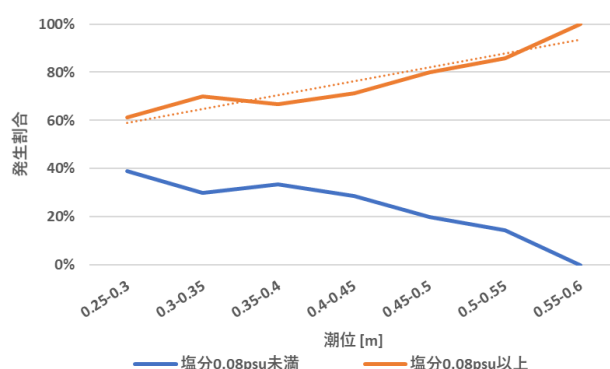


図 5-17 三方湖の各海面水位における塩分 0.08psu 以上(未満)の発生割合

### 5.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

本調査における影響予測に使用した入力パラメータを表 5-10 に示す。

表 5-10 モデル検討及び将来予測に使用したデータ

種類	要素	詳細
観測データ	塩分	三方五湖における観測値
	海面水位	
気候シナリオデータ	海面水位	海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1

### 5.3.8 影響予測における留意事項(制限事項)

本調査では、氷床融解や熱膨張が考慮されていないものの、北太平洋領域を詳細に計算した海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 と、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書による多数のモデルの結果を総合的に利用した全球平均の海面水位上昇を足し合わせて使用している。それぞれの不確実性について、考慮する必要がある。また、三方五湖における観測データが限られていること、将来予測される海面水位の上昇幅が大きく、

現在の観測値から大幅に超える海面水位が予測されていることから統計的な推定には、さらなる三方五湖における観測データの収集が必要であると考えられる。

なお、本調査では、湖面蒸発量は推計されていない。湖面蒸発量は、将来的に気温の上昇に伴い増加することが予想されており、湖面蒸発量の増加により、三方五湖の塩分はさらに上昇する可能性が高いと考えられる。

## 5.4 調査結果

### 5.4.1 文献調査結果

#### 5.4.1.1 シジミ及びヒシの適正塩分環境

既往研究から得られたヤマトシジミの適正塩分環境を表 5-11 に、ヒシの適正塩分環境を表 5-12 に示す。本調査では、三方五湖地域での調査を多く実施する福井県里山里海湖研究所とも連携し、これらの値の使用の妥当性を検討した。

表 5-11 ヤマトシジミの適正塩分環境

生息ステージ	生態浄法・特性等	文献
発生	水温 18℃以上かつ塩素量 300-3,500mg/L	リバーフロント整備センター(1996)
着底	着底時塩分：1.8-12.9psu	石飛ら(2014)
成貝	22psu 以上では水温上昇が塩分耐性に影響	山本ら(2014)

表 5-12 ヒシの適正塩分環境

生育ステージ	生態浄法・特性等	文献
全般	繁茂が確認された環境の塩分：0-5.9psu	山室(2014)
発芽期	三方五湖における発芽期の塩分上限：2-5psu	Nishihiro et al. (2014)

#### 5.4.1.2 海面水位

海面水位の将来予測には、IPCC の SROCC による全球平均の海面水位上昇、海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 の海面水位上昇(将来の海面水位から現在の海面水位の差分)、現在の観測水位から求めた SROCC による全球平均海面水位の上昇を表 5-13 に示す。

表 5-13 海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均海面水位の上昇

	シナリオ	2031-2050		2081-2100	
		平均	年平均の範囲	平均	年平均の範囲
世界平均海面水位上昇(cm)	RCP2.6	17	13~22	39	35~44
	RCP8.5	20	14~27	71	58~84

## 5.4.2 有識者ヒアリングの結果

5.3.3 でのヒアリングで明らかになった結果の内、特に本調査の手法等検討に影響した事項として、三方五湖が、過去に人為的な要因(水害対策など)のために現在よりも高塩分の時期があったこと、福井県や三方五湖自然再生協議会によるヒシやシジミへの既存の取り組みの情報、ヒシ及びシジミの塩分が高濃度時の影響回避などの情報が挙げられる。

## 5.4.3 観測や実証実験の結果

### 5.4.3.1 水理モデルの検討

石黒・大西(1986)による2段貯水池モデルを用いて計算された、2018年7月3日から7月10日までの流量と、観測された塩分及び降水量(美浜)を図5-18に示す。浦見川は久々子湖-水月湖間、早瀬川は若狭湾-久々子湖間を流れているが、流量が負(海から陸向きの流れ)になると塩分が上昇する傾向が見られた。一方、2018年7月5日から6日の降水時から、河川の流量が正(陸から海への流れ)の状態が続くと、塩分が低い状況が続いており、鉛直一層の本モデルにおいても、一定以上の流量がある場合には、塩分と流出に関連があることが示唆された。

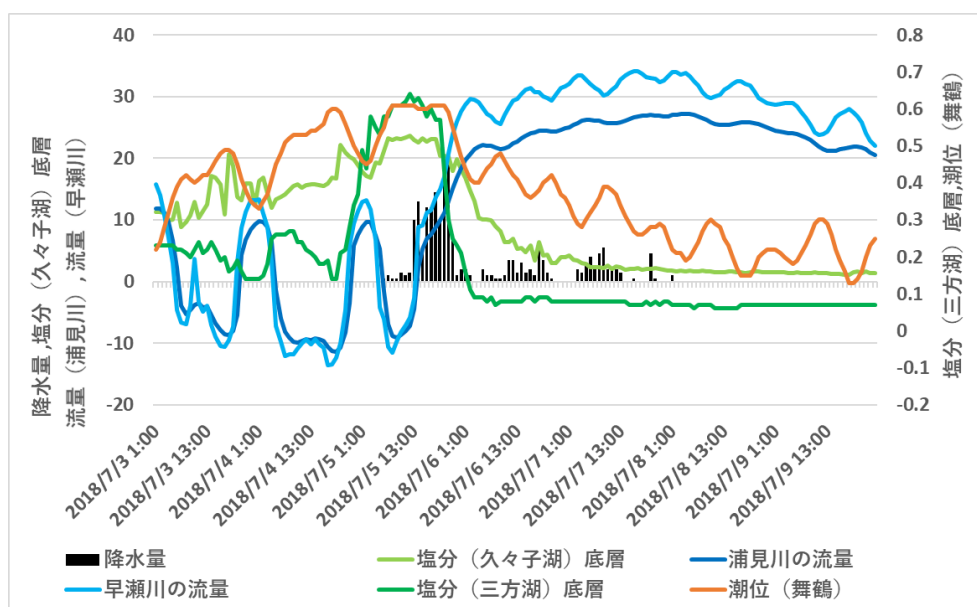


図 5-18 塩分、降水量および水理モデルにより計算された河川流量  
(2018/7/3～2018/7/10)

### 5.4.3.2 塩分及び水温調査

塩分及び水温の連続観測の結果を図5-19に示す。なお、三方湖では2018年8月23日頃に北陸地方を通過した台風20号の影響により、一時観測が中断するなど、一部期間



において欠測があったものの、久々子湖、水月湖、三方湖とも、水温及び塩分双方について、2018 年 5 月 25 日から 2019 年 10 月 17 日における観測結果が得られた。

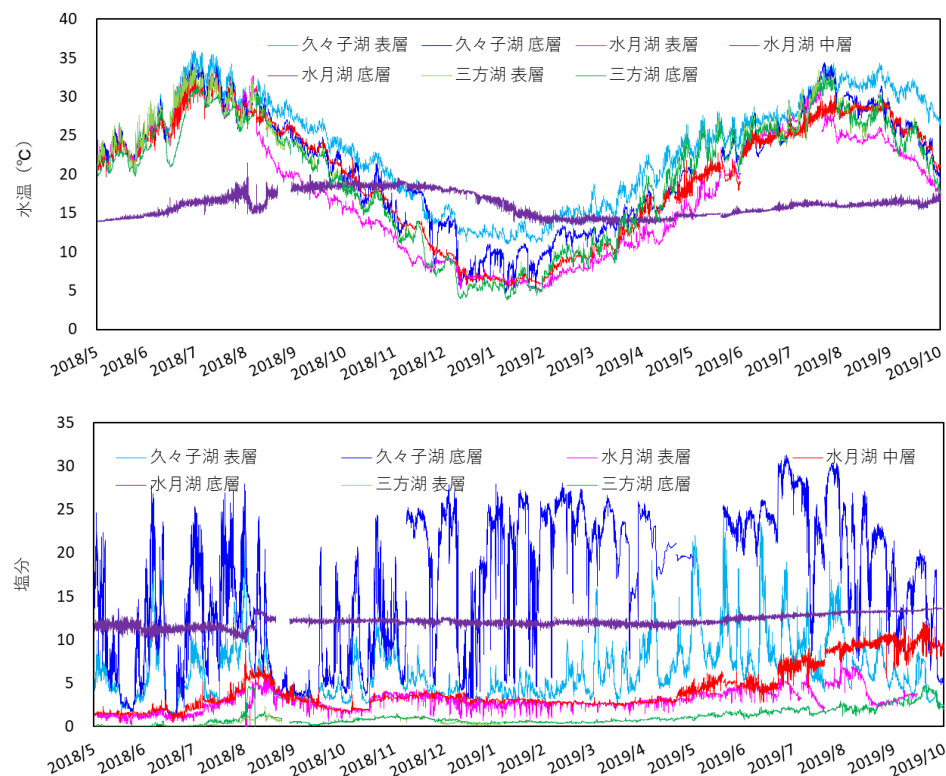


図 5-19 久々子湖、水月湖、三方湖における水温(上)及び塩分(下)

#### 5.4.3.3 久々子湖の塩分動向

若狭湾から早瀬川を通じて海水が流入する久々子湖について、本事業で実施した観測による塩分等の値を用いて解析を実施した。久々子湖は、全長 200m 程度の早瀬川を通じて若狭湾に繋がっており、観測値からも高塩分の湖であるが、特に底層では濃度の振幅が比較的大きい(図 5-19)。石飛ら(1996)では、ヤマトシジミの着底時(5 月から 8 月)の適切な塩分は 1.8 から 12.9 とされ(表 5-11)、久々子湖では現在でも上限値を上回る期間が頻発していることがわかる。

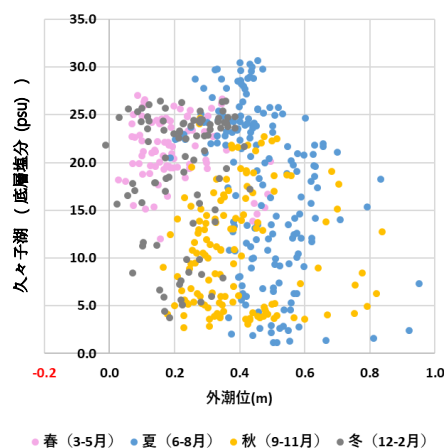


図 5-20 久々子湖の塩分(底層)と外潮位

次に、期間別での海面水位（舞鶴）と塩分の傾向を図 5-20 に示す。底層では、春季は潮位が低い場合でも高塩分のケースが見られている。季節により塩分の傾向が異なることから、季節ごとの値による解析が必要であることが示唆される。

#### 5.4.3.4 三方湖の塩分動向

三方五湖の中で一番淡水に近い低塩分の三方湖について、塩分傾向を解析したところ、本調査での観測では、2019 年 1 月頃から塩分が上昇していることが分かった。山室(2014)では、ヒシの繁茂が確認された場所での塩分は 5.0 以下とされ、特に三方五湖での発芽期の塩分は 2-5 を超えると発芽しても成長できないことが報告されている(Nishihiro et al., 2014)(表 5-12)。今回の調査結果の範囲では、ヒシの塩分耐性の限界値には達していない。

次に、季節別での海面水位（舞鶴）と塩分の傾向を図 5-21 に示す。今回の観測では、春季や冬季に塩分が低く、夏季と秋季は塩分がばらつく傾向が見られており、将来の影響評価に当たっては、季節別の解析が必要であると考えられる。

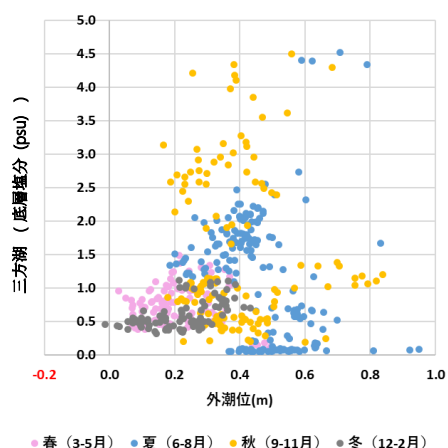


図 5-21 三方湖の塩分(底層)と外潮位

#### 5.4.4 気候変動影響予測結果

##### 5.4.4.1 三方湖におけるヒシの生育

塩分がヒシの生育に大きな影響をあたる発芽期において、5psu 以上の塩分が長期的に続くと、ヒシの生育に向かないとされている(Nishihiro et al. 2014)。ただ、現在ヒシの繁茂が問題となっている三方湖で、5psu の塩分は、統計に十分な観測データが確保できない。このため、本調査ではサンプル数がある程度確保できる 5 月～7 月の 0.08psu 以上の塩分の海面水位ごとの割合を図 5-22 に示した。観測値の結果からも、海面水位が高くなれば若狭湾から、久々子湖、水月湖を経た三方湖でも塩分が高くなる傾向にあることが分かる。ヒシへの影響の大きい 5psu 程度の塩分では定量的な頻度には至っていないが、定性的には 0.08psu と同様の値を示すと考えられ、将来的に塩分上昇、またそれに伴うヒシの減少に繋がることが推定される。ヒシの減少は、漁業者の航路が阻害されないなど好影響も想定される一方、湖内の生物多様性の減少も懸念される。

#### 5.4.4.2 久々子湖におけるシジミの生息

三方湖と同様に、塩分がシジミの生息に大きな影響を与える発芽期(ここでは 6 月～10 月の値を用いた)において、10psu 以上の塩分の示す割合を図 5-22 に示す。なお、ヤマトシジミへの影響の大きい塩分(13psu 程度)は観測値での発生頻度が低く、定量的な頻度には至っていないが、定性的には将来的な塩分上昇がされ、それに伴うシジミの生息域の減少が懸念される。

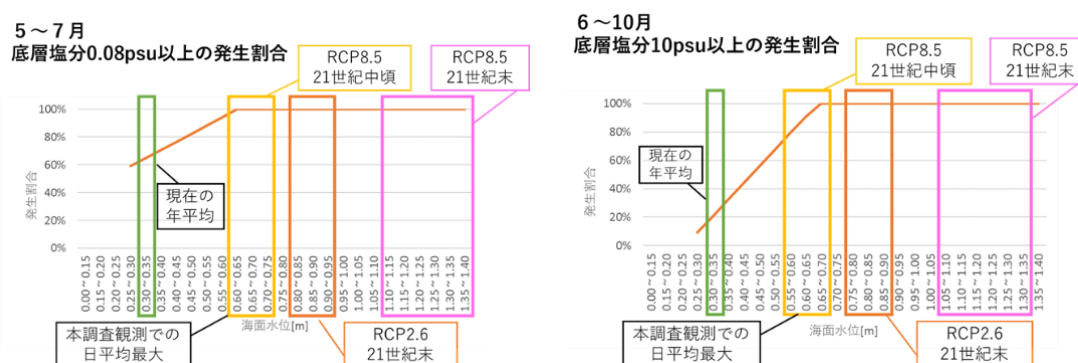


図 5-22 海面水位の変動と塩分濃度(左図:三方湖、右図:久々子湖)

海面水位は海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 (MRI-CGCM3) の値に、IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書による全球平均海面水位上昇を足し合わせた値

#### 5.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では、氷床融解や熱膨張が考慮されていないものの、北太平洋領域を詳細に計算した海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 と、IPCC の海洋・雪氷圏特別報告書による多数のモデルの結果を総合的に利用した全球平均の海面水位上昇を足し合わせて使用している。それぞれの不確実性について、考慮する必要がある。また、観測データが限られていること、将来予測される海面水位の上昇幅が大きく、現在の観測値から大幅に超える海面水位が予測されていることから統計的な推定には、さらなる観測データの収集が必要であると考えられる。

なお、本調査では、湖面蒸発量は推計されていない。湖面蒸発量は、将来的に気温の上昇に伴い増加することが予想されており、湖面蒸発量の増加により、三方五湖の塩分はさらに上昇する可能性が高いと考えられる。

# 5.5 適応オプション

## 5.5.1 手順

適応オプションの検討フローを図 5-23 に示す。

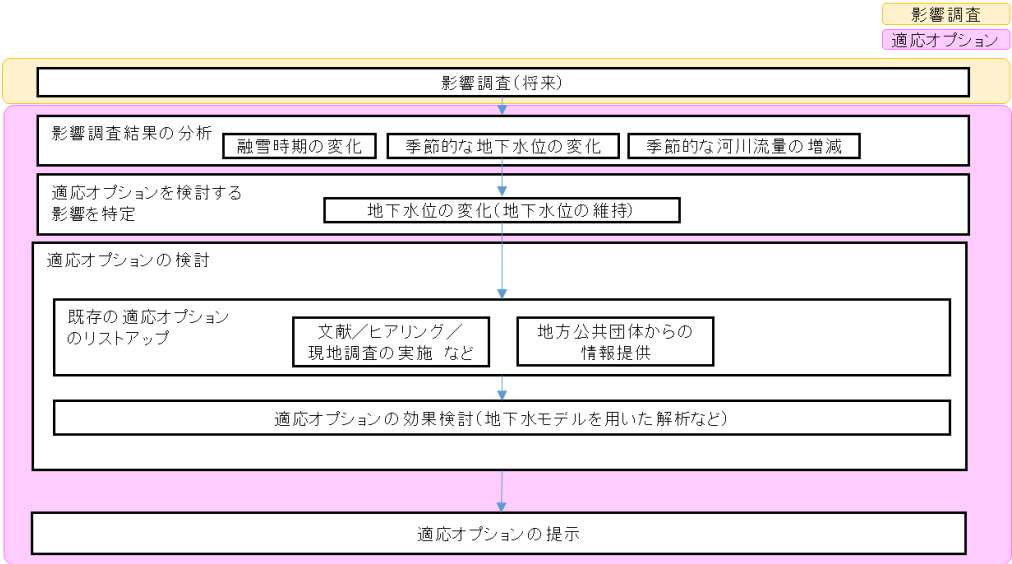


図 5-23 適応オプションの検討フロー

## 5.5.2 概要

本調査で検討した適応オプションの概要を表 5-14 に、その根拠を表 5-15 に示す。

表 5-14 適応オプション(調査項目 3-3):再掲

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現ま での 時間	期待 される 効果の 程度
モニタリング (塩分、水温)	●	●		普及が進ん でいる	特になし	△	○	△	◎	短期	中
浅場造成	●	●		普及が進ん でいる	複合的な影響 が考えられる	△	○	△	◎	短期	高
ヒシ適正管理	●	●	●	普及が進ん でいる	特になし	△	○	△	◎	短期	高

表 5-15 適応オプションの根拠(調査項目 3-3):再掲

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
モニタリング (塩分、水温)	塩分、水温のモニタリングは一般的に広く行われている手法を想定している。
浅場造成	三方五湖自然再生協議会、自然護岸再生部会、シジミのなぎさ部会で実施を検討している。
ヒシ適正管理	三方湖におけるヒシ管理の技術的指針は、三方湖ヒシ対策ガイドライン(2016)で示されている。

### 5.5.3 適応オプション

#### 5.5.3.1 モニタリング(塩分、水温等)

本調査でも、過去の均質な継続的観測データの不足が、将来影響の評価において、大きな課題となった。より適切な影響評価に資することと、タイムリーな対策に向け、モニタリングが必要と考えられる。久々子湖、水月湖、三方湖の塩分、水温環境の長期変動を監視し、シジミ、ヒシ及びその他の生物に対する影響を把握し、必要に応じて、生物のモニタリングも実施することが適応オプションと考えられる。

#### 5.5.3.2 浅場造成

塩分上昇による、シジミ及び魚介類生息域の変化に適応させるため、久々子湖においてシジミの生息域となり得る浅場を造成する。現在のコンクリート護岸から、シジミの生息域となり得る浅場造成を設計する際に、将来的な高塩分域の拡大を踏まえ、水深等を考慮する。

なお、三方五湖自然再生協議会の自然護岸再生部会とシジミのなぎさ部会において、浅場造成による自然環境に近い護岸が検討されている。

#### 5.5.3.3 ヒシ適正管理

ヒシは現在適正量以上の繁茂が見られ、平成 30 年度より毎年刈り取りを実施しているが、塩分上昇に伴うヒシの減少により、三方湖のヒシの刈り取りを含む適正管理の手法や体制の変化が考えられる。今後、塩分の変化に応じて、淡水環境が維持されやすい場所をヒシの保全エリアとするなど、湖内でのヒシ適正化に向けたゾーニングの見直しが考えられる。

大規模な刈り取り事業は平成 30 年度から開始されたため、刈り取りによる影響の知見はこれから蓄積されることに留意が必要である。

## 5.6 引用文献一覧

- ・ 石黒宗秀, 大西亮一, 1986: 水資源開発計画のための三方湖群の水収支解析, 農業土木学会論文集, Vo.125.
- ・ 石飛裕, 向井哲也, 南里敬弘, 若林英人, 勢村均, 森脇晋平, 山室真澄, 神谷宏, 2016: 宍道湖におけるヤマトシジミの幼生加入と成長速度に及ぼす塩分の影響, 水産増殖, Vo.64, No.3.

- ・ 環境省、2017: 水生生物による水質評価法マニュアル-日本版平均スコア法-.
- ・ 山室真澄, 2014: 日本の汽水湖沼での異常増殖が懸念される淡水産沈水植物・浮葉植物の繁茂が確認された塩分範囲, 陸水学会誌, Vo.75.
- ・ (財)リバーフロント整備センター編, 1996: 川の生物図典, 山海堂.
- ・ Nishihiro, Jun, Yoshikazu Kato, Takehito Yoshida, Izumi Washitani, 2014: Heterogeneous distribution of a floating-leaved plant, *Trapa japonica*, in Lake Mikata, Japan, is determined by limitations on seed dispersal and harmful salinity levels, Ecological Research, Vo. 29, No.5.
- ・ 宮本康,2019:三方五湖のシジミ, 福井県里山里海湖研究所