

1. 本調査の目的等

1.1 背景・経緯

湖沼は古来よりその地域の人々と密接に関わり、地域の文化を育むとともに、利水や漁業、観光等、人間生活や社会経済活動にとって不可欠な存在である。また、水が滞留するという閉鎖的な水理上の特性を持ち、汚濁物質が蓄積しやすいため、公共用水域の中でも湖沼の水環境は気候変動の影響を受けやすい。このため、一度変化してしまうと元に戻すことが困難となってしまうことが考えられる。

そこで、環境省では平成25～令和2年度にかけて、気候変動等により引き起こされる湖沼の水環境への影響について、定量的な将来予測、影響評価に関する検討を実施した（以下、本調査という）。具体的には、モデル湖沼として八郎湖、琵琶湖、池田湖の3湖沼を選定し、気候モデルデータ（将来の気象予測データ）を入力条件として、数値シミュレーションを行い、気候変動による将来の水質変化を予測し、影響評価を行った。

本調査の実施にあたっては、検討当時の最新の知見や情報を取り入れつつ、湖沼の水質・生態系、及び気候変動に関する学識経験者や研究機関の研究者、湖沼を管理する行政担当者で構成した「気候変動による湖沼への影響評価・適応策検討会（平成25～令和2年度）」を設立し、議論してきた。

1.2 本調査報告書作成の目的

本調査の成果を、行政やコンサルタント等実務担当者、大学や行政等の研究機関の研究者に、今後、全国の湖沼で気候変動による将来予測、影響評価に関する検討を行う際の参考資料として広く活用してもらうために、平成25～令和2年度の検討成果をまとめた「調査報告書」を作成した。

2. モデル湖沼の選定

湖沼の水質変化は気象や地形条件等によって特性が異なるため、本来は、湖沼毎に検討を行うことが必要であるが、全国の湖沼で同様の検討を行うことは困難である。

そこで、モデル湖沼での気候変動影響評価の検討結果を、全国湖沼での今後の検討に活用していくことを想定し、検討に普遍性・汎用性を持たせることを考慮して、全国湖沼からモデル湖沼を選定した。具体的には、分析に用いることができる水質データが揃っていた全国21湖沼を対象として、過去約30年間の水質変化傾向等の分析を行った。この結果から、我が国の湖沼で想定される主な気候変動影響のうち、湖水温上昇、全循環不全、アオコ発生、融雪出水変化を評価することができると考えられた、八郎湖、琵琶湖、池田湖をモデル湖沼とした。

3. モデル湖沼での水質予測モデルの構築

様々な要因の影響を受けて複雑な変化を呈する湖沼の水質変化を評価するため、水質予測モデルを用いた。ここで、気候変動影響を検討するためには、①流域での降水量変化に伴う流入量・負荷量変化、②気温変化に伴う湖内水質変化等を考慮できる水質予測モデルとする必要があった。

このことを踏まえ、八郎湖、琵琶湖では自治体の既往検討で構築された流域モデルと湖内モデルから構成する水質予測モデルを採用した。また、池田湖では新規に同様の水質予測モデルを構築した。10年間の現況再現を行って、実測流量・水質データと比較することで再現性を確認した。なお、この10年間の現況とし将来予測結果と比較することとした。また、検討過程において、検証するためのモニタリングデータの不足や植物プランクトン相の変化予測等、再現性に改善の余地があることを確認し、今後の課題として整理した。

4. 将来予測における将来気象条件の設定

将来予測に用いるための将来気象データとして、将来気象予測の不確実性を考慮する必要があること、水質予測モデルのメッシュデータサイズ（数百 m 程度）や時間ピッチ（1 時間程度）と整合を取る必要があった。しかしながら、検討当時はこれら条件を満足する気候モデルのデータセットの種類が限られていた。継続的な検討の中で多くの試行を行い、最終的には、将来の気温上昇程度の不確実性から、2つの排出シナリオ（RCP2.6 と 8.5）と、気候モデルの違いによる不確実性から、4つの気候モデル（MRI-NHRCM20、MIROC5、GFDL-3CM、d4PDF）を採用し、5つの予測ケース（MRI-NHRCM20：RCP2.6 と 8.5、MIROC5、GFDL-3CM：RCP8.5、d4PDF：RCP8.5 相当）を設定した。

予測時期は 21 世紀末頃であり、予測期間は、水質予測モデルの計算負荷等を勘案して、各予測ケースでそれぞれ 10 年間とした。

また、気象変化による影響評価を行うことから、水質予測モデルに入力する将来条件は、気象（気温、降水量）のみ変えることとし、流域人口や土地利用等は現況と同じ条件とした。ただし、将来社会条件に関する研究は進みつつあり、今後取り入れていく必要がある。

5. 影響評価の方法

水質予測モデルにより得られる予測結果は将来の水質変化であるため、それを用いて湖沼の生物・生態系や、流域の人、社会に対する影響を評価することが必要である。

影響評価にあたっては、湖沼の水質変化によって、水利用上、何が問題になるのかを整理しておくことが重要である。例えば、湖沼の水温が上昇（いつ？、どのくらい？）することによって、何（漁獲対象魚種等）にどのような影響があるのか、といったことの整理が必要である。

そのため、気候変動により想定される水質等の変化と、それにより生じると考えられる生態系や人・社会への影響を考慮して評価指標を設定し、各湖沼の特徴（水利用状況や漁業等）

を踏まえて、現況と将来予測結果を比較により影響評価を行った。

6. 八郎湖における将来予測・影響評価

(1) 冷水性魚類の生息適水温とのずれ

主な漁業対象種であるワカサギの成魚の生息に影響を与えると考えられる水温 (30℃) 以上となる状況について、気温の上昇や湖水温の上昇によって、基準点の表層水温では、現況は 10 年間で 0 日に対し、将来は 2~608 日となり、生息に影響を与える高水温となる可能性が示された。

(2) 植物プランクトン量の変化

八郎湖で発生するアオコの原因である植物プランクトンについて、豪雨に伴う出水時の負荷流入量の増加やその後に水温上昇が重なる等の状況によって、クロロフィル a 濃度がさらに増加し、その最大値は、現況に比べて将来では 1.05~1.61 倍になると予測され、アオコ等の発生リスクが高くなる可能性が示された。

7. 琵琶湖における将来予測・影響評価

(1) 冬季全循環の変化

琵琶湖北湖の最深部における水深別水温変化から、現況や RCP2.6 では冬季全循環不全 (表層と底層の水温が同じにならない) は予測されなかったが、RCP8.5 の 4 ケースでは 10 ヶ年中 1~3 回、全循環不全が生じる予測結果となった。

(2) 底層水の貧酸素化と底層利用種の生息環境への影響

琵琶湖北湖に広く分布する底層利用魚種であるイサザの生態に関して低酸素耐性濃度 2.5mg/L (12h-Lch5) をしきい値として、この濃度を下回る湖底層の面積の湖底全体に対する縮小割合から、現況では最大で 12.3%の縮小に対し、将来は 37.2~60.1%と予測された。これにより、イサザの生息環境に適した面積が、将来では縮小する可能性が示された。

8. 池田湖における将来予測・影響評価

(1) 植物プランクトン量の変化

火山湖である池田湖では、将来、基準点の夏において表層水温が上昇するとともに、内部生産の影響により COD 等の水質濃度ピークが顕著になるとの予測結果が得られた。これにより、現況に比べて植物プランクトンの増殖がより増加傾向になる可能性が示された。

9. 調査結果のとりまとめ及び今後の課題

9.1 将来予測・影響評価結果のとりまとめ

モデル湖沼での気候変動による将来予測、及び影響評価の結果、湖水温 (表層) は最高水温の上昇とそれによる生息魚類への影響の可能性やクロロフィル a 濃度の最大値の増加、及びその頻度の増加、また、冬季全循環不全の発生回数の増加やそれによる底層 DO 濃度の

減少、底層利用種の生息環境への影響の可能性が示された。しかし、ケースによって予測結果には幅があるため影響評価では留意が必要である。

9.2 気候変動による影響評価の今後の課題

モデル湖沼での検討を通じ、気候変動による湖沼の水環境への影響を評価するにあたっての今後の課題は、次の通りである。

(1) 気候モデルでの将来気象データの解像度

将来気象データについて、時間、空間解像度によって予測結果が異なる。数 10km スケールの流域規模の湖沼に対して、100km スケールの気候モデルのメッシュデータを用いた場合、特に降水量の設定が過大になる可能性が示された。

近年では高解像度の将来気象データ整備が進んでおり、最新知見を把握した上で、将来水質予測に適した将来気象データを用いていくことが重要である。

(2) 局所的な水質変化を再現するシミュレーションの必要性

魚類の生息や人の生活環境に与える影響の検討にあたっては、湖沼における代表点（湖心等）だけでなく、沿岸域を含めた水質の空間分布を評価する必要がある。このためには、より詳細な空間分布を再現できる水質予測モデルの構築や、その再現性確認のためのモニタリングが必要である。

(3) 気候変動による影響評価の方法の確立

気候変動による水質変化の特徴として、気温上昇等による平均的な水質変化だけでなく、豪雨等、短期間で急激に生じる水質変化もある。この変化は湖沼の生物等に対して、致命的なダメージを与える可能性がある。このため、影響評価にあたっては、水質環境基準等、年間を通じた平均的な水質変化（年平均値の変化等）とともに、豪雨や異常高温等、極端な気象変化による影響にも着目することが重要である。

また、水温や水質が変化した結果、どのような影響があるのか、どの程度の水温や水質になれば、生物や人の生活に影響があるのか（ないのか）を判断するためのしきい値等の評価指標が必要である。今後、調査研究や検討を進め、影響評価方法の確立、検討事例の蓄積が必要である。