

8 4-6 気候変動による琵琶湖の水環境への影響調査[滋賀県]

8.1 概要

8.1.1 背景・目的

琵琶湖は日本最大の湖であり、近畿地域では多くの自治体が水源として取水を行っている。しかし近年、藍藻類⁷の大量発生及び水道異臭味(カビ臭⁸)の原因となる植物プランクトンの出現に伴い、アオコ⁹や水道異臭味の発生が問題となっている。これらは特定の気象条件においてある種の藻類が急激に増殖することにより、アオコや水道異臭味(カビ臭、生ぐさ臭¹⁰)を発生させることが指摘されている。

本調査では、琵琶湖における過去約30年間分の観測データ(生物、気象、水質等)を用いて、環境要素と植物プランクトンの関係解析を行うとともに、気候シナリオを用いた将来予測計算を実施して、将来の環境が植物プランクトンに与える影響を予測した。また、実地調査結果及び既存知見を活用して予測結果に基づく影響評価を行い、適応策を検討した。

8.1.2 実施体制

本調査の実施者： 滋賀県、東北大学、一般財団法人日本気象協会

アドバイザー： 東北大学大学院生命科学研究科 教授 近藤 倫生

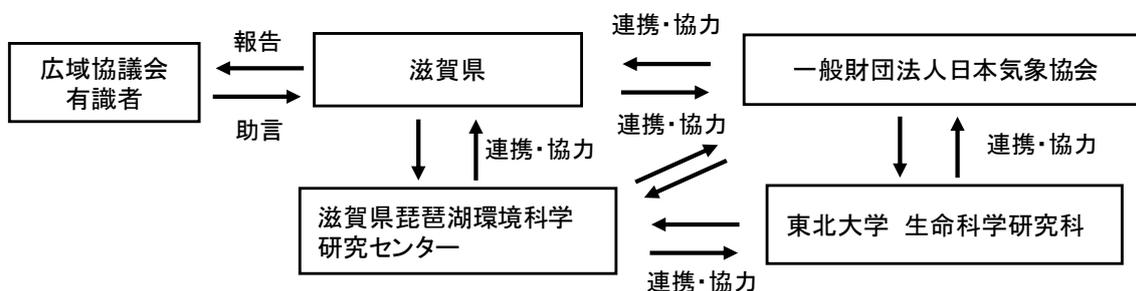


図 8.1-1 実施体制図(調査項目 4-6)

⁷ 藍藻類:アオコやカビ臭の原因となる植物プランクトンを含む。「シアノバクテリア」ともいう。

⁸ カビ臭:原因物質はジェオスミン及び2-MIB。墨汁臭、土臭ともいう。

⁹ アオコ:アオコ形成植物プランクトンの大発生により、水面が緑色のペンキを流したような状態になる現象。

¹⁰ 生ぐさ臭:原因物質は黄色鞭毛藻 *Uroglena americana* によって産生される。魚臭ともいう。

8.1.3 実施スケジュール(実績)

平成 30 年度から平成 31 年度の 2 年間で実施した本調査のフローを図 8.1-2 に示す。

平成 30 年度の調査では、琵琶湖におけるアオコの発生や水道異臭味について、既存の学術研究や調査報告書の文献等の収集・整理を行うとともに、琵琶湖南湖を中心とした実地調査により現状の把握を行った。また、既存の観測データを用いて、環境要素と植物プランクトンの関係解析や予測モデル構築の検討を行い、影響評価を試行した。

平成 31 年度の調査では、前年度の調査に引き続き、時系列データによる解析から、植物プランクトン量の増減に影響を与える環境要素とその効果を推定した。解析の結果を元に、植物プランクトン予測モデルを構築し、将来の植物プランクトン量の変化を予測した。また、実地調査及び既存知見を活用して、気候変動がアオコの発生及び水道異臭味の原因となる植物プランクトン量に与える影響を評価し、適応策の検討を行った。

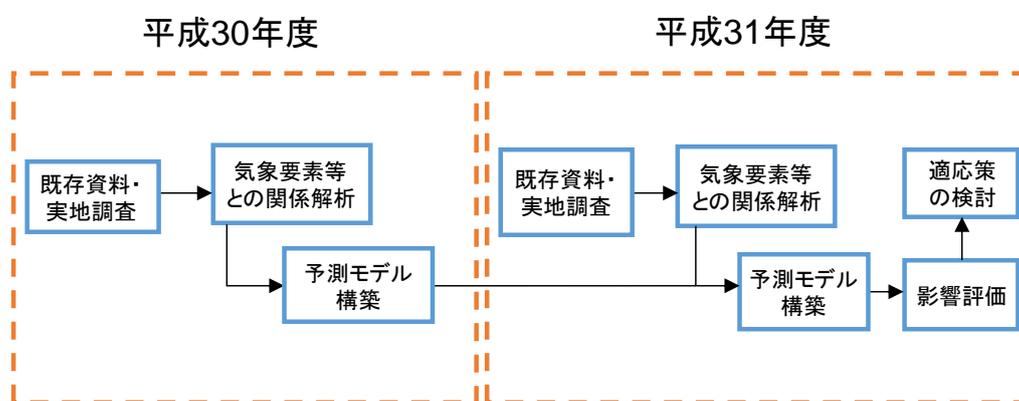


図 8.1-2 本調査の実施フロー(調査項目 4-6)

8.1.4 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 8.1-1 に示す。

表 8.1-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 4-6)

項目	琵琶湖の植物プランクトン量
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5
排出パラメータ	平均気温、降水量、日射量
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末
対象地点	大津、彦根
バイアス補正の有無※	有り(全国)

※「有り(全国)」: 地域適応コンソーシアム全国運営事業委託業務によりバイアス補正を実施した気候パラメータを使用

8.1.5 気候変動影響予測結果の概要

気候変動が琵琶湖のアオコ発生や水道異臭味(カビ臭、生ぐさ臭)の原因となる植物プランクトン量へ与える影響について、過去約 30 年間分の観測データをもとに、将来の植物プランクトン量を推定するモデルを作成し、影響評価を行った。

8.1.5.1 環境要素と植物プランクトン成長率(現在)

環境要素が植物プランクトンに対して与える影響について関係解析を行った結果、対象とした全ての植物プランクトンの成長率に対して、特に気温が与える影響が大きいことが推定された。顕著な関係が得られた気温と植物プランクトン成長率の関係を図 8.1-3 に示す。アオコ形成種は気温の上昇とともに成長率が増加、カビ臭原因種は気温 25°C 付近で成長率がピークとなりその後一定、生ぐさ臭原因種は気温 10~13°C 付近で成長率がピークとなりその後減少傾向となった。

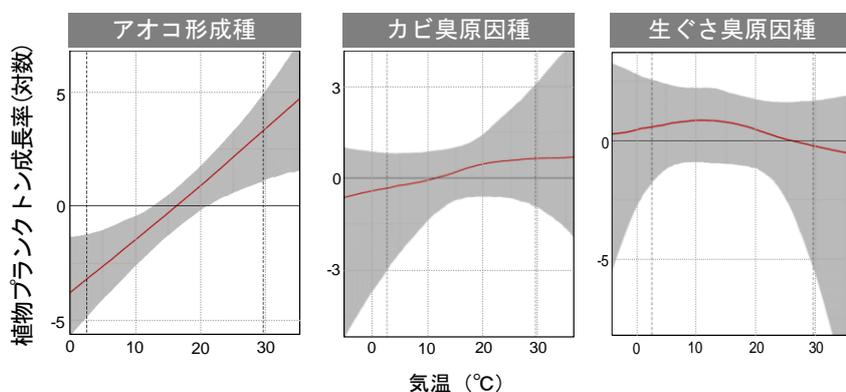


図 8.1-3 気温と植物プランクトン成長率の関係

8.1.5.2 植物プランクトン量の変化(将来)

植物プランクトン予測モデルを用いて、将来環境における植物プランクトン量の変化を予測した結果、現在と比較して 21 世紀中頃及び 21 世紀末では、比較的気温上昇の小さい RCP2.6 では植物プランクトンの大きな増減は見られないが、気温上昇の大きい RCP8.5 ではアオコ形成種及びカビ臭原因種の増加が予測された(図 8.1-4)。

植物プランクトン量の月別の予測結果では、アオコ形成種及びカビ臭原因種は年間を通して増加、生ぐさ臭原因種は気温の高い時期(7~11 月)は抑制傾向だが、寒候期(1~2 月)は現在よりも増加することが懸念される(図 8.1-5)。

1 年間に大量発生が起こる確率及びその月数は、アオコ形成種及びカビ臭原因種で増加傾向を示した(図 8.1-6)。

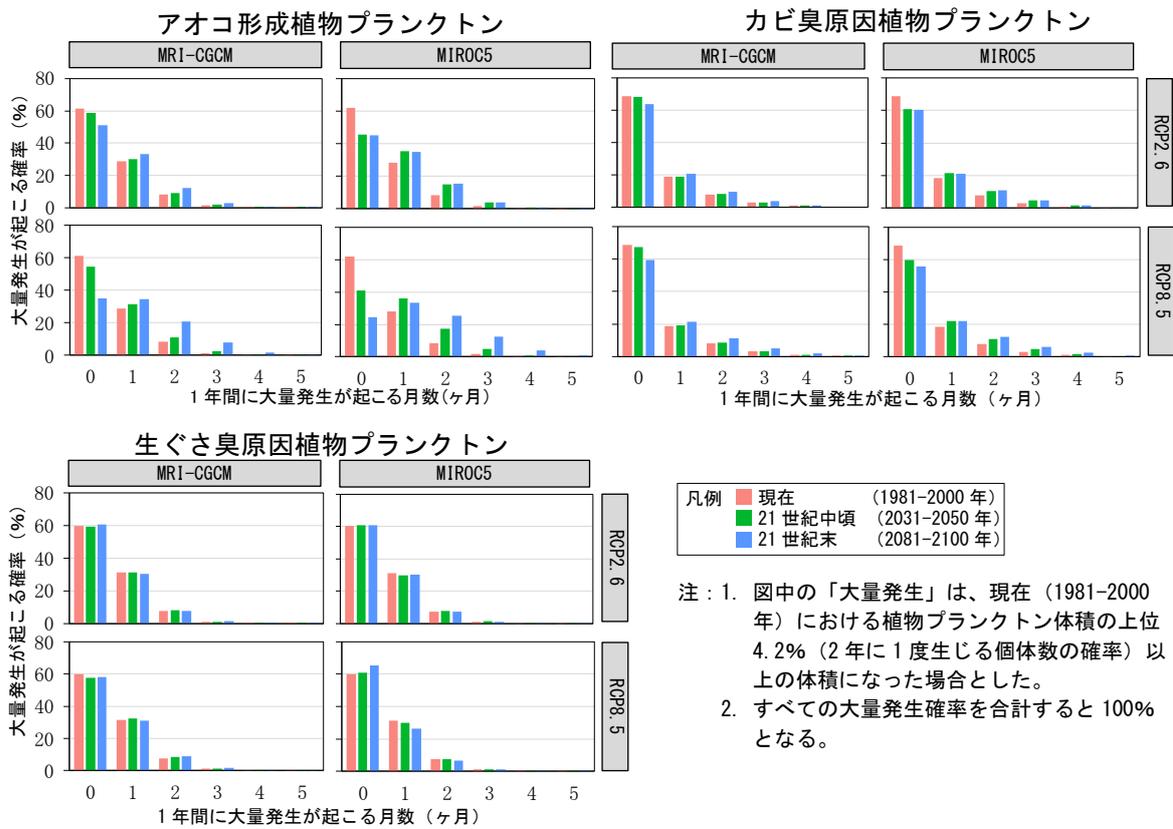


図 8.1-6 年間大量発生月数の予測結果

8.1.6 活用上の留意点

- ・ 本調査で実施した植物プランクトン量予測手法を適用するためには、連続した長期的な観測データが必要である。
- ・ 植物プランクトン予測モデルの有用性は確認されたが、モデル構築に用いた植物プランクトンの観測データが週別であるため、観測されていない日単位の変化はモデルに反映されていない可能性がある。
- ・ 将来予測は月別で実施したことから、短い時間スケールで起こる急激な環境変化による植物プランクトンの増減は再現されていない可能性がある。
- ・ 観測データによる統計的解析のため、これまで経験したことのない環境における推定には限界がある。
- ・ 対象とした植物プランクトンは文献に基づき、アオコ形成植物プランクトン（藍藻綱 28 種）、カビ臭原因植物プランクトン（藍藻綱 5 種）、生ぐさ臭原因植物プランクトン（黄色鞭毛藻綱 1 種）の 3 つのグループに分類し解析を実施しているため、増殖の直接的な原因種を特定及び予測することは出来ない。

8.1.7 適応オプション

適応オプションを表 8.1-2 に、またその根拠となる情報を表 8.1-3 に示す。

表 8.1-2 適応オプション(調査項目 4-6)

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
①アオコ発生の早期発見	●			—	<ul style="list-style-type: none"> 継続的な実施体制 適切な監視方法の確立 他オプションとの並行実施が必要 	△	△	N/A	◎	短期	低
②湖流の調整	●			普及が進んでいない	<ul style="list-style-type: none"> 科学的な知見の不足 治水、生物、環境、漁業等多方面への影響が大きい 導入コストを要する 	△	△	△	△	中期	中
③水道における対応	●			—	<ul style="list-style-type: none"> 適切な処理技術の確立 継続的にコストを要する 	△	○	△	◎	短期	高

表 8.1-3 適応オプションの根拠(調査項目 4-6)

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
①アオコ発生の早期発見	並行実施するオプションが求める情報レベルに応じた監視体制を構築する必要があり、そのためには目視だけではなく、より高精度かつ簡素な監視手法を開発し、継続的に実施することが必要となる場合がある。
②湖流の調整	琵琶湖においては、生物・治水・漁業等多方面に影響を及ぼすことが考慮されることから、十分な科学的知見やデータを基に慎重に実施する必要がある。
③水道における対応	琵琶湖では、異臭味が発生した場合に粉末活性炭を注入する等の処理を実施し、異臭除去作業を行っている。ただし、予測するアオコ発生の規模や期間によっては、既存設備で対応可能か検証も必要である。また、粉末活性炭といった高コストの物資を継続的に要すうえに保存も難しいことから、新たな異臭除去技術の開発や予測技術の発達による効率的な物資調達等、費用対効果の検討が必要である。

8.2 気候シナリオに関する情報

8.2.1 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 8.2-1 に示す。

表 8.2-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 4-6)

項目	琵琶湖の植物プランクトン量
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5
排出パラメータ	平均気温、降水量、日射量
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末
対象地点	大津、彦根
バイアス補正の有無※	有り(全国)

※「有り(全国)」: 地域適応コンソーシアム全国運営事業委託業務によりバイアス補正を実施した気候パラメータを使用

8.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

気候シナリオを現在・21 世紀中頃・21 世紀末の期間に分け、モデル別に月別平均し比較した結果を図 8.2-1 に示す。

月平均気温は、将来気候においてほぼ全ての月で現在よりも高くなる傾向があり、月積算降水量は、現在から将来にかけて各月によって異なる増減を示す傾向が見られた。月積算日射量は、夏季に上昇する傾向が見られているが、モデルによる違いが大きい結果となった。

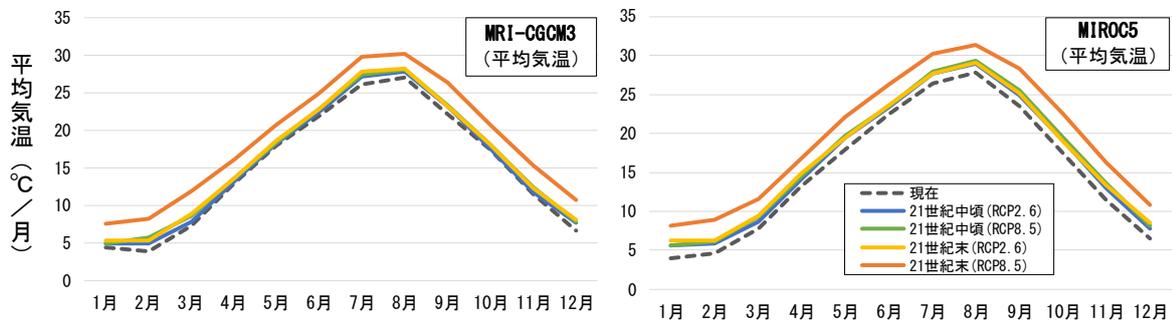


図 8.2-1(1) 月平均気温のモデル別傾向(期間別の平均値)

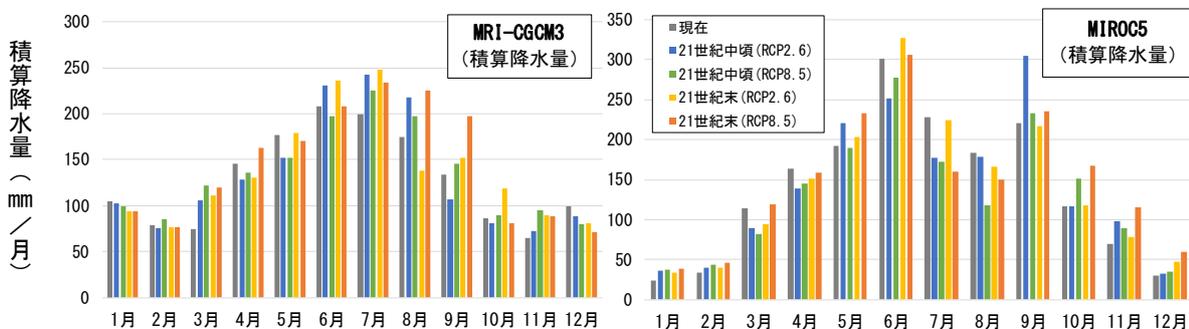


図 8.2-1(2) 月積算降水量のモデル別傾向(期間別の平均値)

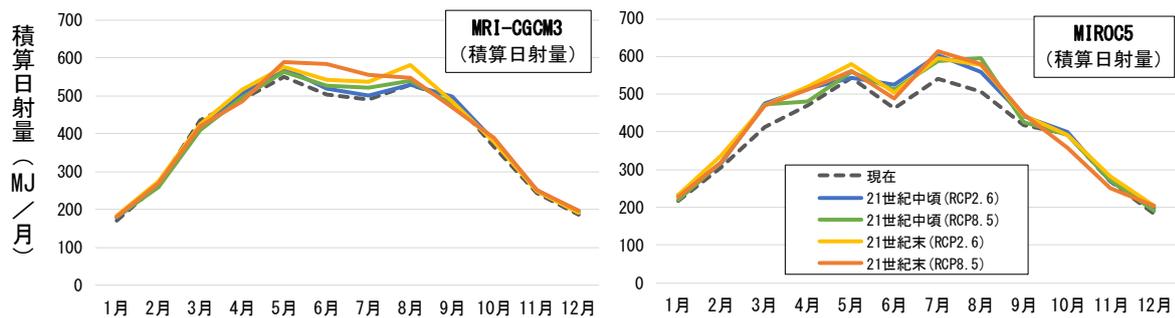


図 8.2-1(3) 月積算日射量のモデル別傾向(期間別の平均値)

8.2.3 気候シナリオに関する留意事項

観測値と気候シナリオの現在気候を比較し再現性を検証した結果、月平均気温及び月積算日射量は観測値と気候シナリオでほぼ同じ値であった。月積算降水量は、観測値と気候シナリオで月によってはやや差が見られるものの、月毎の傾向は類似していた。

8.2.4 バイアス補正に関する情報

「(3)気候シナリオに関する留意事項」記載の気候パラメータ再現性の検証結果より、気候シナリオの再現性は比較的良好であるため、本データのバイアス補正を行う必要はないと考えられ、バイアス補正を実施しない。

8.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査では、アオコの発生及び水道異臭味に関係する気象要素として考えられる環境要素(気温・降水量・日射量)を含み、また可能な限り空間解像度が細かいシナリオとして「NIES 統計 DS データ」が適していると考えられたため、本データを選択した。

8.3 気候変動影響に関する調査手法

8.3.1 手順

調査の作業フローを図 8.3-1 に示す。

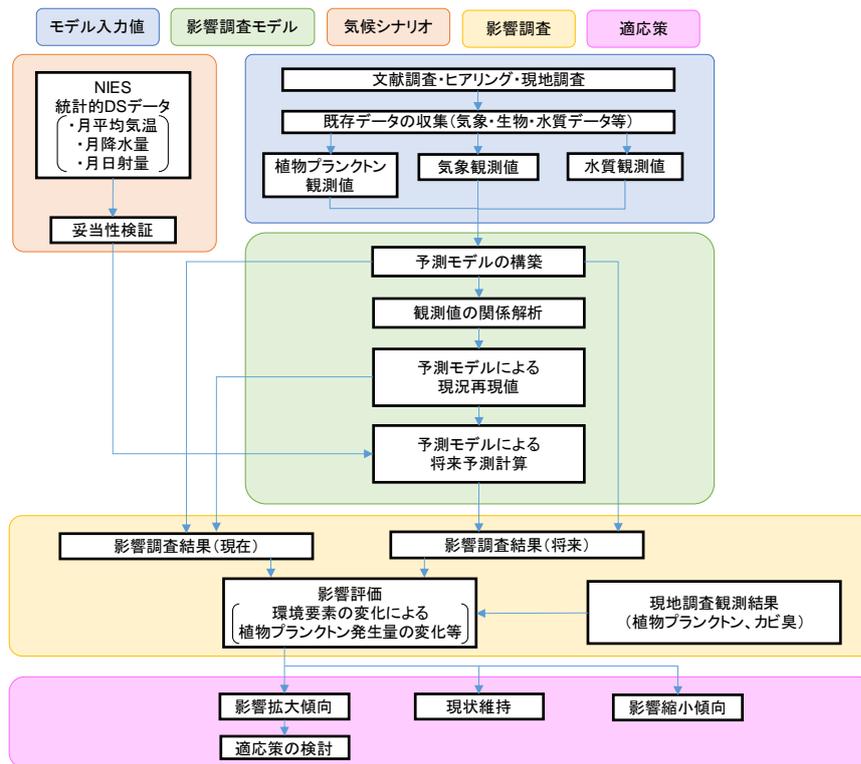


図 8.3-1 作業フロー

8.3.2 使用したデータ・文献

収集した琵琶湖における既存観測データの概要を表 8.3-1 に示す。滋賀県からは、植物プランクトン及び水質のデータを受領した。国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所からは、瀬田川洗堰放流量(以下、放流量とする)データを受領した。また、気象庁ホームページより気象データを収集した。なお、収集した文献の概要を表 8.3-2 に示す。

表 8.3-1 収集データ概要

収集データ及び地点		出典・提供元	期間
植物プランクトン	瀬田川流心 (週 1~2 回)	滋賀県	1979~2017 年
放流量	瀬田川洗堰 (6 時値)	国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所	1979~2018 年
	瀬田川洗堰 (時別値)		1992~2018 年
降水量	大津 (アメダス、時別値)	気象庁 HP	1978~2018 年
気温	大津 (アメダス、時別値)	気象庁 HP	1978~2018 年
日射量	彦根地方气象台 (時別値)	気象庁 HP	1989~2018 年
水質	瀬田川流心 (月 1 回)	滋賀県	1979~2018 年

表 8.3-2(1) 文献調査結果の概要

文献	概要
北村友一, 南山瑞彦, 2012: 地球温暖化が湖の水質に与える影響—霞ヶ浦と琵琶湖の約 30 年間の水質データの統計解析—. 土木技術資料, 54-3, 6-9	湖水表層の水温は気温と強い相関を示し、気温が 1℃上昇すると水温も約 1℃上昇する。
大久保卓也, 東善広, 2014: 過去 35 年間の琵琶湖の水質変化と流域環境の変化. 海洋化学研究, 29(1), 2-16	琵琶湖における 1979~2013 年度の過去 35 年間の統計結果より、夏季から秋季にかけて表層水温は上昇傾向にある。
浦屋陽一, 竹本成行, 1990: 藻類増殖特性に関する一実験. 開発土木研究所月報, 441, 27-33	植物プランクトンの増殖には、水温、照度(日射)、pH といった環境要因による影響が明らかとなっている。
高村典子, 2014: アオコ研究におけるこれまでの取り組みと湖沼管理に向けた今後の課題. 水環境学会誌, 37(5), 156-159	温暖化による温度上昇は、藍藻類の増殖に好適な環境となり、アオコの発生可能性が増加する。
藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆一, 1995: 全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係. 水環境学会誌, 18(11), 901-908	藍藻類は、水温の上昇とともに優占率が大きくなる。特に主なアオコ原因生物である <i>Microcystis</i> 属、 <i>Anabena</i> 属の優占率は 30℃以上で急激に高まる。
南條吉之, 田中賢之介, 福田明彦, 宮原典正, 1993: アオコの増殖と水温の関係. 鳥取県衛生研究所, 33, 52-54	アオコ原因生物である <i>Microcystis aeruginosa</i> の最適増殖温度は水温 30℃である。また、25℃でも増殖率は良く、20℃では約 3 日のラグタイム後に増殖開始する。
橋本敏子, 井澤博文, 後田俊直, 冠地敏栄, 藤間裕二, 2007: アオコ発生簡易予測手法開発の試み. 全国環境研会誌, 32(4), 47-52	アオコ原因生物である <i>Anabena</i> は、水温 15、20、25℃の条件で培養した結果、水温の上昇とともに増殖開始のラグタイムが短くなるが、最大増殖量は水温によらず同程度であることを確認した。
Yasuhiko Tezuka, 1985: Rainfall as a factor regulating the appearance of <i>Anabena</i> bloom in the south basin of Lake Biwa. Japanese Journal of Limnology, 46(1), 8-14	琵琶湖南湖における <i>Anabena macrospora</i> の大発生は、降水量の低下によって湖水の窒素欠乏が生じ、窒素固定能をもつ <i>Anabena macrospora</i> の大発生を引き起こしたと推論される。
山田直樹, 青山幹, 山田益生, 浜村憲克, 1985: 天然水のカビ臭に関する研究(第 1 報) <i>Phormidium tenue</i> の増殖特性とカビ臭産生について. 水質汚濁研究, 8(8), 515-521	カビ臭の主な原因生物である <i>Phormidium tenue</i> の増殖及びカビ臭物質発生の最適温度は 20℃付近である。
工藤勝弘, 河上智行, 山田正, 2004: ダム貯水池におけるフォルミディウムとカビ臭. 水文・水資源学会誌, 17(4), 331-342	<ul style="list-style-type: none"> ・カビ臭の主な原因生物である <i>Phormidium tenue</i> の現存量とカビ臭濃度との関係は必ずしも比例関係にはないが、<i>P.tenue</i> が 1,000 細胞/mL を超えた場合、カビ臭問題が発生する可能性が高くなると推察される。 ・<i>P.tenue</i> の現存量が増加するのは表層の水温が 15~30℃となる時期であることを確認した。

表 8.3-2(2) 文献調査結果の概要

文献	概要
吉田陽一, 中原紘之, 堀家健司, 1996: 琵琶湖南湖におけるホルミディウムの優占的発生と水質および気象要因等との相互関係. 日本水産学会誌, 62(6), 872-877	<ul style="list-style-type: none"> ・カビ臭の主な原因生物である <i>Phormidium tenue</i> は水温が 21~22℃で、降水量が少なく、日照時間が長く、また日射量が多い年に出現する傾向が強い。 ・生ぐさ臭の原因生物である <i>Uroglena americana</i> は気温が低く、降水量が多く、日照時間が短く、日射量の少ない年に出現する傾向が高い。
村上敬吾, 1991: 中禅寺湖の淡水赤潮. 水質汚濁研究, 14(5), 8-12	生ぐさ臭の原因生物である <i>Uroglena americana</i> 増殖の最適温度は 15℃前後であり、20℃を超えると減少する傾向がある。
野村潔, 1991: 琵琶湖における淡水赤潮について. 水質汚濁研究, 14(5), 18-24	琵琶湖における赤潮発生時の日平均水温は、約 15~22℃の間であった。

8.3.3 有識者ヒアリング

ヒアリング結果の概要を表 8.3-3 に示す。

表 8.3-3 ヒアリング結果の概要

NO.	1
ヒアリング対象者	東北大学 教授 近藤倫生
日付	平成 30 年 6 月 4 日 9:50~11:10
場所	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
概要	時系列データを用いた植物プランクトンと環境要素の関係解析や将来予測手法の解説をしていただき、今後の解析の進め方について助言を頂いた。
NO.	2
ヒアリング対象者	東北大学 教授 近藤倫生
日付	平成 30 年 10 月 12 日 10:00~12:30
場所	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
概要	東北大学による解析の経過報告をして頂き、解析手法や結果の説明や気候シナリオの利用、影響評価について助言を頂いた。
NO.	3
ヒアリング対象者	東北大学 教授 近藤倫生
日付	令和元年 7 月 24 日 10:30~12:30
場所	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
概要	解析結果と影響評価について、成果の取りまとめ方について助言を頂いた。

8.3.4 観測および実証実験

アオコ形成植物プランクトン及びカビ臭原因植物プランクトンの発生頻度が相対的に高い琵琶湖南湖を中心として季節毎に採水を行い、植物プランクトンの同定計数及びカビ臭物質濃度の調査を実施し、現状を把握した。調査実施日と気象概要を表 8.3-4、調査地点を図 8.3-2 に示す。

表 8.3-4 調査実施日と気象概要

調査日		天気	気温(°C)	降水量(mm)
春季	平成 30 年 6 月 27 日	晴れ	26.1～29.6	0
夏季	平成 30 年 8 月 28 日	晴れ	27.2～33.7	0
	令和元年 9 月 9 日	晴れ	28.5～31.3	0
秋季	平成 30 年 11 月 15 日	晴れ	7.8～15.2	0
冬季	平成 31 年 2 月 8 日	晴れ	5.2～6.1	0



図 8.3-2 調査地点

8.3.5 気候変動影響予測手法の検討

アオコの発生及び水道異臭味(カビ臭・生ぐさ臭)の原因となる植物プランクトンに対する環境要素(気象・水質等)による影響を調査するため、収集した既存の琵琶湖における観測データに対して時系列解析を適用し、対象の植物プランクトンの動態に影響する環境要素の推定、植物プランクトン予測モデルの構築、将来予測及び影響評価を実施し、適応策の検討を行った。対象とした植物プランクトンの分類リストを表 8.3-5、影響調査の解析フローを図 8.3-3 に示す。

表 8.3-5 植物プランクトンの分類リスト

分類	網類名	種名
アオコ形成植物プランクトン	藍藻(28種)	<i>Microcystis aeruginosa</i>
		<i>Microcystis wesenbergii</i>
		<i>Microcystis incerta</i>
		<i>Microcystis viridis</i>
		<i>Microcystis flos-aquae</i>
		<i>Microcystis novacekii</i>
		<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
		<i>Woronichinia naegeliana</i>
		<i>Anabaenopsis</i> sp.
		<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
		<i>Aphanizomenon</i> sp.
		<i>Anabaena spiroides</i>
		<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i>
		<i>Anabaena macrospora</i>
		<i>Anabaena macrospora</i> var. <i>crassa</i>
		<i>Anabaena affinis</i>
		<i>Anabaena planktonica</i>
		<i>Anabaena constricta</i>
		<i>Anabaena circinalis</i>
		<i>Anabaena inaqualius</i>
		<i>Anabaena flos-aquae</i>
		<i>Anabaena</i> sp.
		<i>Anabaena aphanizomenoides</i>
<i>Oscillatoria tenuis</i>		
<i>Oscillatoria kawamurae</i>		
<i>Oscillatoria</i> sp.		
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>		
<i>Raphidiopsis</i> sp.		
カビ臭原因植物プランクトン	藍藻(5種)	<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i>
		<i>Anabaena macrospora</i>
		<i>Anabaena macrospora</i> var. <i>crassa</i>
		<i>Oscillatoria tenuis</i>
		<i>Phormidium tenue</i>
生ぐさ臭原因植物プランクトン	黄色鞭毛藻(1種)	<i>Uroglena americana</i>

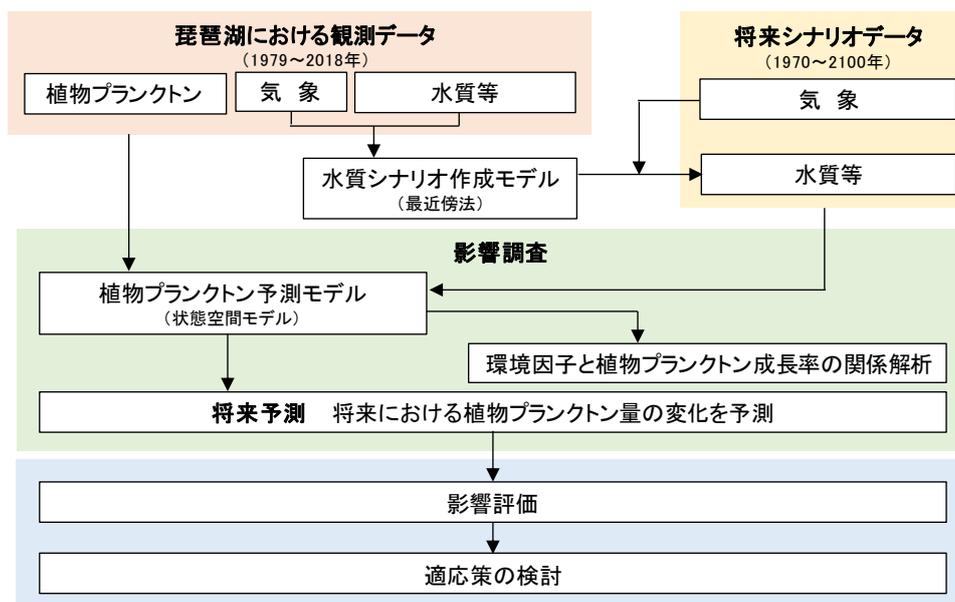


図 8.3-3 影響予測手法のフロー

8.3.6 影響予測モデルに関する情報

8.3.6.1 水質シナリオ作成モデル

将来の水質等推定のために、観測された水質データに最近傍法を適用し、水質シナリオ作成モデルを構築した。本モデルを用いて、気象条件の変化による水質への影響を考慮した将来の水質シナリオを作成した。

また、作成した水質シナリオデータの妥当性確認を行うため、既存の観測値を用いて気象と水質データの相関の比較を行った結果、全期間を通して概ね相関は高かった。

8.3.6.2 植物プランクトン予測モデル

時系列解析によって直前の植物プランクトン量と気象条件から植物プランクトン量を予測するため、状態空間モデルを構築した。予測モデルの構築には、表 8.3-1 に示した収集データを全て用いた。

また、構築した予測モデルの妥当性を検証するため、既存の観測値と予測モデルを用いて算出した予測値の比較を行い、Bayes 統計における仮説検定を行った結果、図 8.3-4 に示すとおり予測モデルが実際のデータと有意に異なることが確認され (Bayesian- $p > 0.05$)、妥当性が確認された。

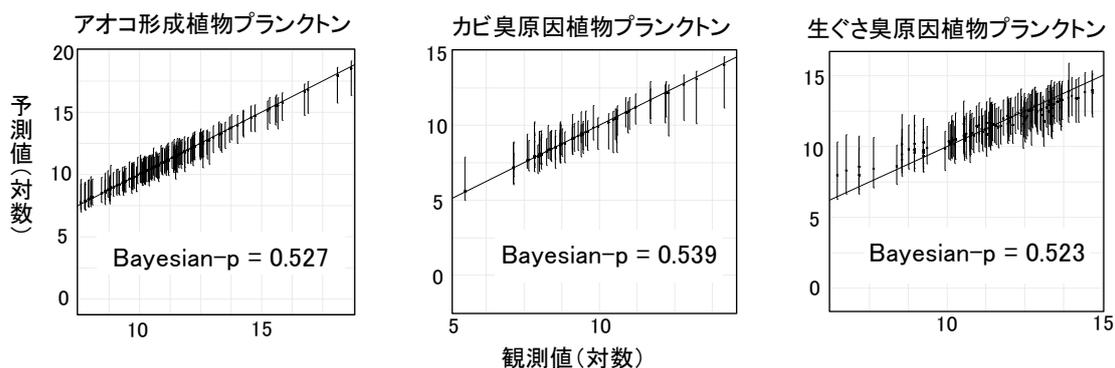


図 8.3-4 観測値と予測値の植物プランクトン体積の相関

本予測モデルを用いて、環境要素が植物プランクトンに対して与える影響について関係解析を実施し、植物プランクトン体積の変動に対して強い影響を与える環境要素の推定を行った。特に重要な要素として選定された環境要素を表 8.3-6、選定された環境要素と植物プランクトン成長率の相関を図 8.3-5 に示す。対象とした全ての植物プランクトンの成長率に対して、特に気温が与える影響が大きいことが推定され、アオコ形成植物プランクトンでは気温の上昇とともに増加、カビ臭原因植物プランクトンでは 25°C 付近がピークでその後一定、生ぐさ臭原因植物プランクトンでは 10~13°C 付近がピークでその後減少傾向を示した。

表 8.3-6 植物プランクトン体積の変動に対して強い影響を与える環境要素

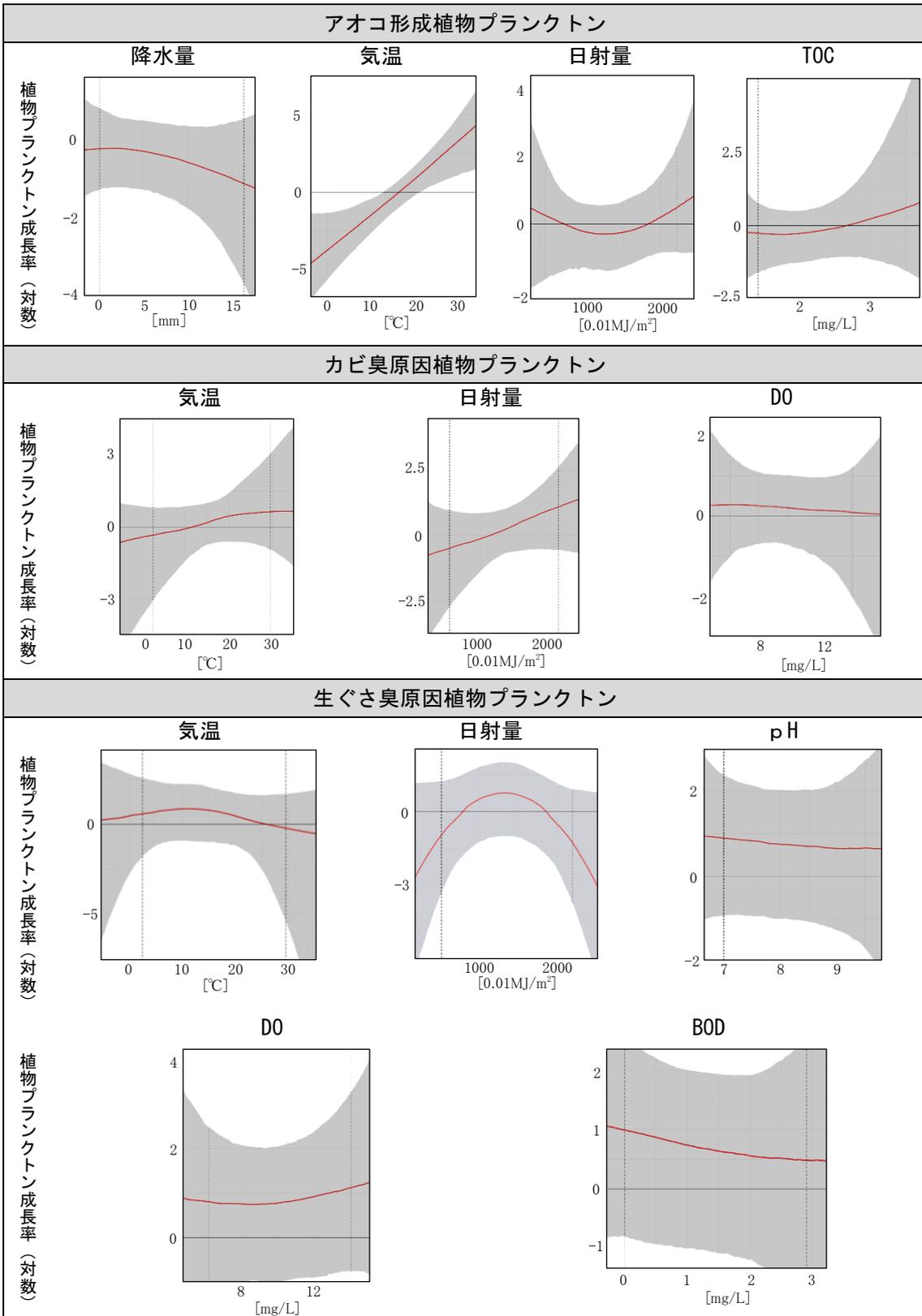
対象	データ項目	強い影響を示す環境要素
アオコ形成植物プランクトン	気象	降水量、気温、日射量、日射量 (二乗項)
	水質	TOC ¹¹
	密度効果 ¹²	1ヶ月前及び2ヶ月前の個体群密度
カビ臭原因植物プランクトン	気象	気温、気温 (二乗項)、日射量
	水質	DO ¹³
	密度効果	1ヶ月前の個体群密度
生ぐさ臭原因植物プランクトン	気象	気温、気温 (二乗項)、日射量 (二乗項)
	水質	pH、DO、BOD ¹⁴
	密度効果	1ヶ月前の個体群密度

¹¹ TOC:全有機炭素

¹² 密度効果:生物の個体群密度の変化によって成長率や成長速度等が変化する現象。

¹³ DO:溶存酸素

¹⁴ BOD:生物化学的酸素要求量



注：1. 横軸の点線は、実測値の範囲を示す。
 2. 灰色部分は、95%信用区間を示す。

図 8.3-5 環境要素と植物プランクトン成長率の相関

8.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

将来予測に用いたデータを表 8.3-7 に示す。全て月別値に処理し解析に使用した。

表 8.3-7 将来予測に使用したデータ

項目	種類	要素	項目	期間	詳細
モデル構築	観測データ	生物	植物プランクトン	1979 ~ 2018 年	琵琶湖における観測データ
		気象	気温・降水量・日射量		
		水質等	pH・DO・BOD・COD ¹⁵ ・T-N ¹⁶ ・T-P ¹⁷ ・TOC・放流量		
将来予測	シナリオデータ	気象	気温・降水量・日射量	1981 ~ 2100 年	NIES 統計 DS データ
		水質等	pH・DO・BOD・COD・T-N・T-P・TOC・放流量		水質シナリオ作成モデルを用いて作成

8.3.8 影響予測における留意事項(制限事項)

- ・ 本調査で実施した植物プランクトン量予測手法を適用するためには、連続した長期的な観測データが必要である。
- ・ 植物プランクトン予測モデルの有用性は確認されたが、モデル構築に用いた植物プランクトンの観測データが週別であるため、観測されていない日単位の変化はモデルに反映されていない可能性がある。
- ・ 将来予測は月別で実施したことから、短い時間スケールで起こる急激な環境変化による植物プランクトンの増減は再現されていない可能性がある。
- ・ 観測データによる統計的解析のため、これまで経験したことのない環境における推定には限界がある。
- ・ 植物プランクトン数種類をグループ化し解析を実施しているため、増殖の直接的な原因種を特定及び予測することは出来ない。
- ・ 対象とした植物プランクトンは表 8.3-5 のリストに基づいて、アオコ形成植物プランクトン(藍藻綱 28 種)、カビ臭原因植物プランクトン(藍藻綱 5 種)、生ぐさ臭原因植物プランクトン(黄色鞭毛藻綱 1 種)の 3 つのグループに分類し解析を実施しているため、増殖の直接的な原因種を特定及び予測することは出来ない。

¹⁵ COD: 化学的酸素要求量

¹⁶ T-N: 全窒素

¹⁷ T-P: 全りん

8.4 調査結果

8.4.1 文献調査結果

既往研究からは、水温上昇や降水量の減少は藍藻類の増殖及び優占化をもたらし、アオコの発生や高濃度のカビ臭物質を生じる可能性を高め、水質の悪化が懸念されることが示されている。

8.4.2 有識者ヒアリングの結果

有識者ヒアリングの中で、環境要素と植物プランクトンの関係解析及び植物プランクトンの将来予測に用いるモデル構築手法や、解析に用いるデータ等に関する知見が得られた。影響調査及び影響評価を実施するにあたり、これらの知見を参考にした。

8.4.3 観測や実証実験の結果

琵琶湖及び瀬田川における地点別実地調査結果を図 8.4-1 に示す。

実地調査の結果、水温が上昇し 30℃近くとなった夏季は、ほぼ全地点で藍藻類の優占率が高まるとともに、カビ臭物質(2-MIB)の濃度が高くなり、既存知見と同様の結果が確認された。また、2018 年夏季については、地点③及び⑦の 2-MIB 濃度が水道基準値 10ng/L と比較すると上回っていた。

以上の調査結果及び既存知見より、夏季は気温上昇に伴う水温上昇により、高温に適応した藍藻類の優占率が高まり、カビ臭物質を生成する植物プランクトンの増殖に伴いカビ臭物質濃度が増加したと推察される。

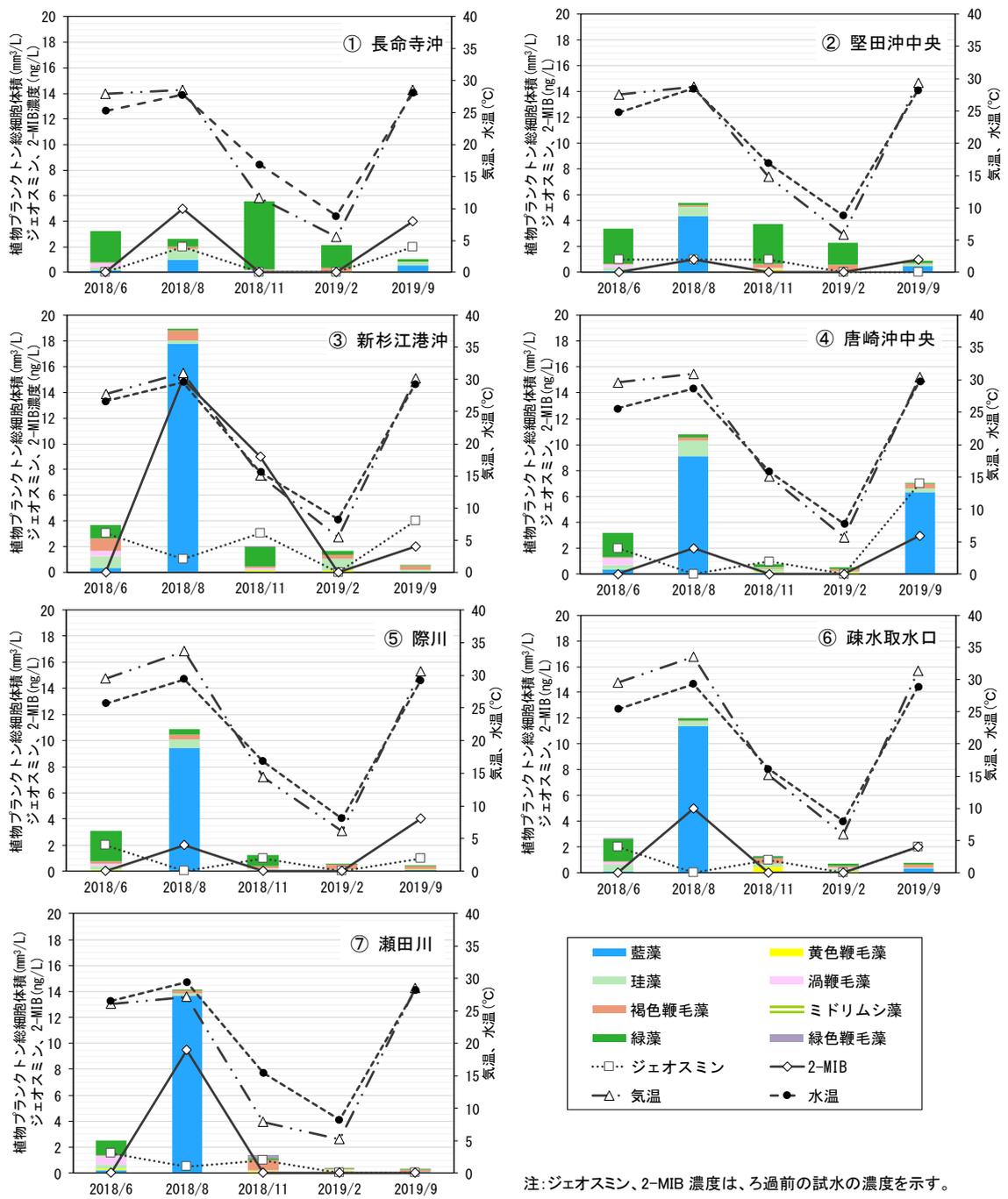


図 8.4-1 地点別実地調査結果

8.4.4 気候変動影響予測結果

「植物プランクトン予測モデル」で作成した予測モデルにシナリオデータを入力し、将来の植物プランクトン量を予測した。現況の予測シミュレーションを実施したうえで、将来予測を 21 世紀中頃及び 21 世紀末という期間区分として予測結果をまとめ、気候変動による植物プランクトン量の変化を現在と比較した。植物プランクトン量の予測結果を図 8.4-2、月別の予測結果を図 8.4-3、年間大量発生¹⁸月数の予測結果を図 8.4-4 に示す。

アオコ形成植物プランクトンは、現在と比較して 21 世紀中頃及び 21 世紀末では増加傾向であり(図 8.4-2 ①)、月別では年間を通して増加(図 8.4-3 ①)、1 年間に大量発生が起こる確率及びその月数は増加傾向を示す(図 8.4-4 ①)。藍藻類は水温の上昇とともに優占率が高くなり、特にアオコの主要な形成種である *Microcystis* 属、*Anabena* 属は 30℃以上で急激に増加する(南條ら、1993)ため、将来の気候変動に伴う気温上昇とともに増加する可能性が高いと考えられる。

カビ臭原因植物プランクトンは、現在と比較して 21 世紀中頃及び 21 世紀末では、気温上昇の大きいシナリオである RCP8.5 の場合に微増傾向であり(図 8.4-2 ②)、月別では年間を通して増加傾向にあり、特に夏季の高温期の上昇率が高く(図 8.4-3 ②)、1 年間に大量発生が起こる確率及びその月数は増加傾向を示す(図 8.4-4 ②)。カビ臭原因植物プランクトンの最適増殖温度は 20℃付近であり、表層の水温が 15～30℃となる時期に増加する(工藤ら、2004・山田ら、1993)ことから、将来の気候変動による気温上昇によって増殖、また発生時期の長期化が懸念される。

生ぐさ臭原因植物プランクトンは、現在と比較して将来環境においても大きな変動はみられず(図 8.4-2 ③)、月別では高温期(7～11 月)は抑制傾向だが、寒候期(1～3 月)は現在よりも増加傾向を示し(図 8.4-3 ③)、1 年間に大量発生が起こる確率及びその月数は大きな変化はみられない(図 8.4-4 ③)。生ぐさ臭原因植物プランクトンの最適増殖温度は 15℃前後であり、20℃を超えると減少する傾向があること(村上、1991)から、将来の気候変動による大きな変化はみられないが、寒候期の気温上昇により発生時期の移行が懸念される。

¹⁸ 大量発生：本調査における植物プランクトンの大量発生の定義は、現在気候(1981-2000)における植物プランクトン体積の上位 4.2%(2 年に一度生じる個体数の確率)以上の体積になった場合とした。

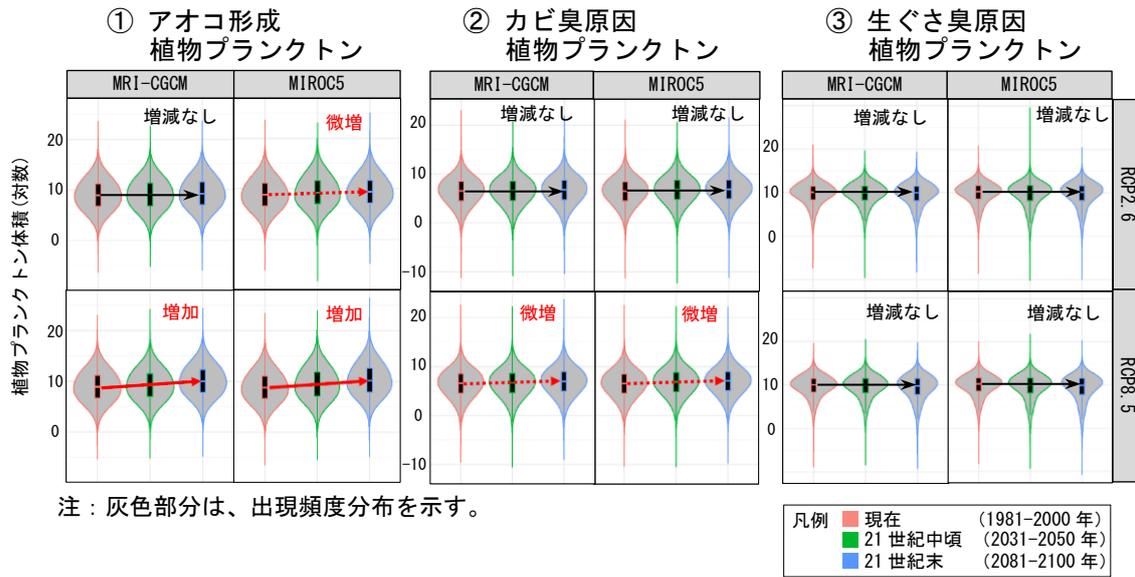


図 8.4-2 植物プランクトン量の変化

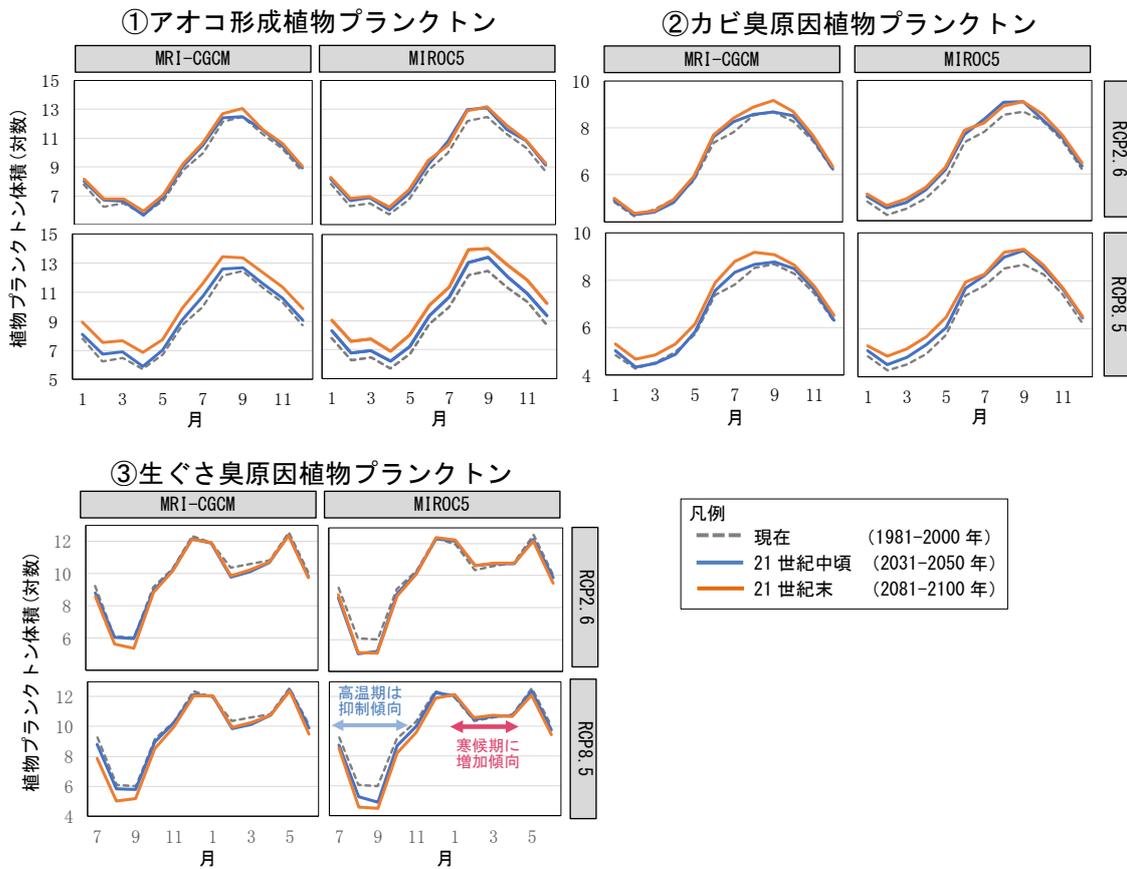


図 8.4-3 植物プランクトン量の変化(月別)

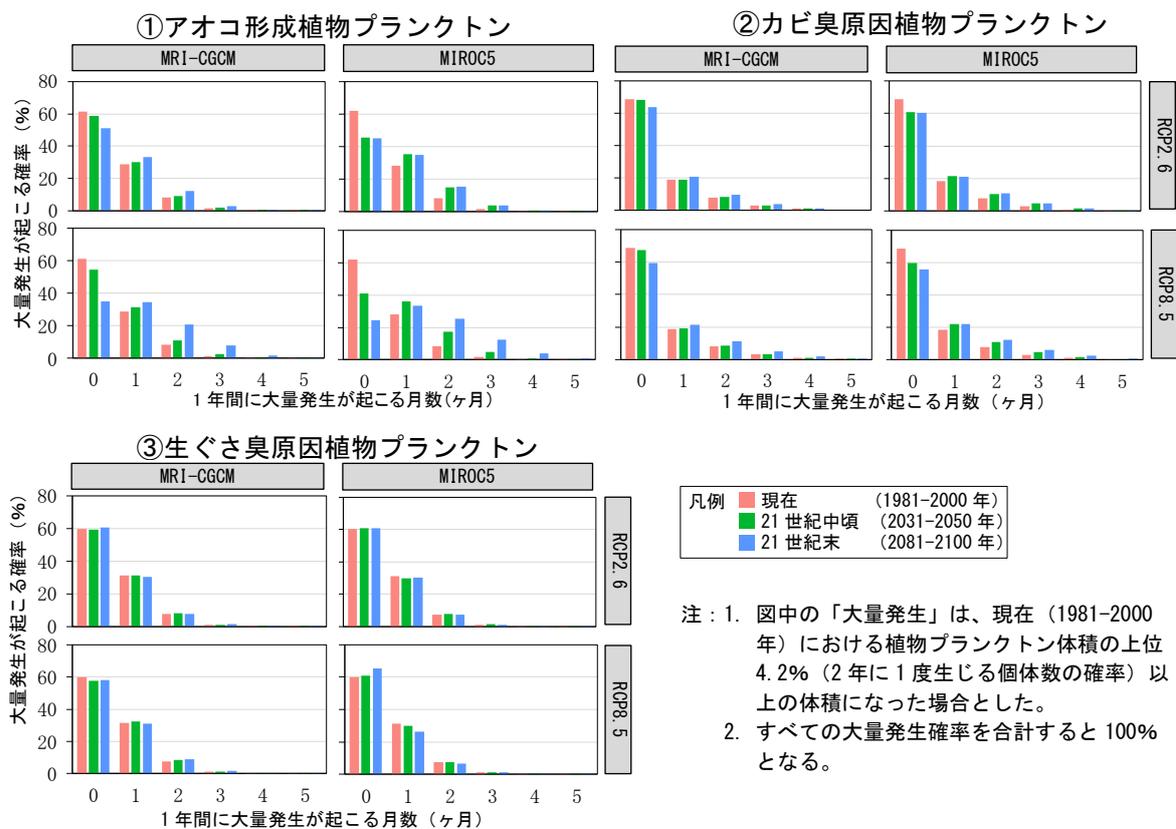


図 8.4-4 年間大量発生月数の予測結果

8.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

- ・ 本調査で実施した植物プランクトン量予測手法を適用するためには、連続した長期的な観測データが必要である。
- ・ 植物プランクトン予測モデルの有用性は確認されたが、モデル構築に用いた植物プランクトンの観測データが週別であるため、観測されていない日単位の変化はモデルに反映されていない可能性がある。
- ・ 将来予測は月別で実施したことから、短い時間スケールで起こる急激な環境変化による植物プランクトンの増減は再現されていない可能性がある。
- ・ 観測データによる統計的解析のため、これまで経験したことのない環境における推定には限界がある。
- ・ 対象とした植物プランクトンは表 8.3-5 の分類リストに基づき、アオコ形成植物プランクトン(藍藻綱 28 種)、カビ臭原因植物プランクトン(藍藻綱 5 種)、生ぐさ臭原因植物プランクトン(黄色鞭毛藻綱 1 種)の 3 つのグループに分類し解析を実施しているため、増殖の直接的な原因種を特定及び予測することは出来ない。

8.5 適応オプション

8.5.1 手順

適応オプション検討の流れは図 8.5-1 のとおりである。

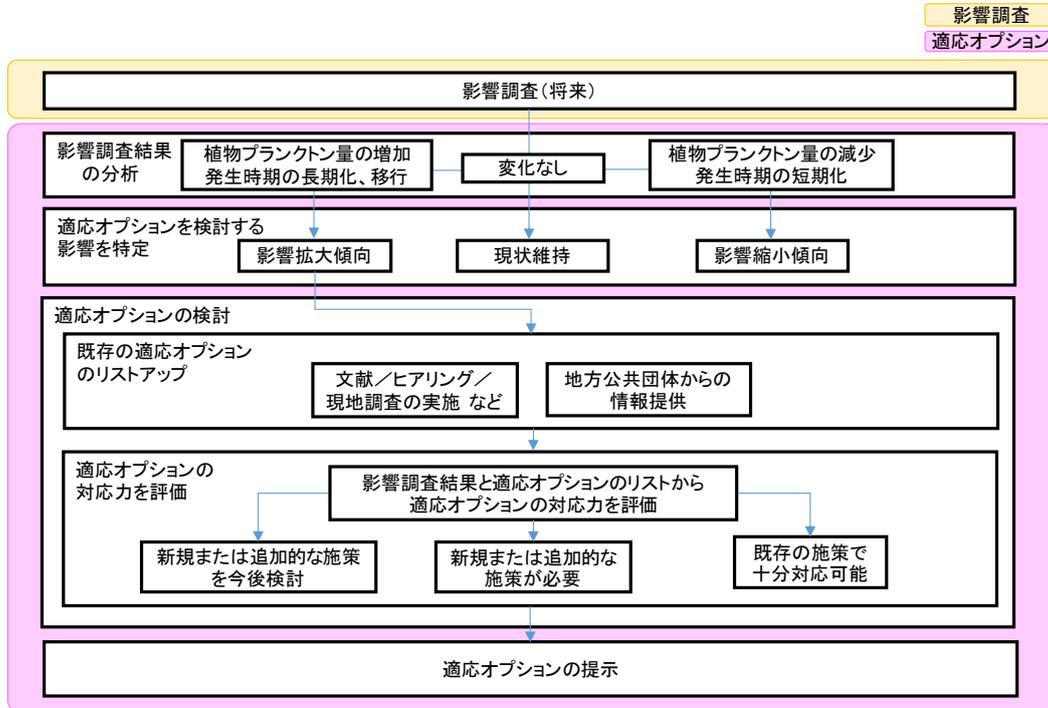


図 8.5-1 適応オプションの検討フロー

8.5.2 概要

適応オプションを表 8.5-1 に、またその根拠となる情報を表 3.5-2 に示す。

表 8.5-1 適応オプション(調査項目 4-6):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
①アオコ発生 の 早期発見	●			—	・継続的な実施体制 ・適切な監視方法の確立 ・他オプションとの並行実施が必要	△	△	N/A	◎	短期	低
②湖流の調整	●			普及が 進んで いない	・科学的な知見の不足 ・治水、生物、環境、漁業 等多方面への影響が大きい ・導入コストを要する	△	△	△	△	中期	中
③水道に おける対応	●			—	・適切な処理技術の確立 ・継続的にコストを要する	△	○	△	◎	短期	高

表 8.5-2 適応オプションの根拠(調査項目 4-6)

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
①アオコ発生 の 早期発見	並行実施するオプションが求める情報レベルに応じた監視体制を構築する必要があり、そのためには目視だけではなく、より高精度かつ簡素な監視手法を開発し、継続的に実施することが必要となる場合がある。
②湖流の調整	琵琶湖においては、生物・治水・漁業等多方面に影響を及ぼすことが考慮されることから、十分な科学的知見やデータを基に慎重に実施する必要がある。
③水道に おける対応	琵琶湖では、異臭味が発生した場合に粉末活性炭を注入する等の処理を実施し、異臭除去作業を行っている。ただし、予測するアオコ発生の規模や期間によっては、既存設備で対応可能か検証も必要である。また、粉末活性炭といった高コストの物資を継続的に要すうえに保存も難しいことから、新たな異臭除去技術の開発や予測技術の発達による効率的な物資調達等、費用対効果の検討が必要である。

8.5.3 適応オプション

8.5.3.1 アオコの早期発見

アオコが発生する高温期に、アオコが発生しやすい水域や取水口付近において継続的な監視・モニタリングを実施することにより、アオコの発生を早期発見し発生状況を確認することで、適切な状況把握と対応が可能となる。

ただし、アオコ発生状況は一般的に水面の状況を目視による確認で判断を行うが、早期発見のためにはより高精度かつ簡素なモニタリング手法の開発が求められる。また、水道における対応等、他分野の対応との連携実施が必要となる。

8.5.3.2 湖流の調整

湖流を調整することにより水の滞留時間を減少させ、長時間水が滞留することで起こる水温上昇や水質の悪化を抑制し、アオコや異臭味の原因となる植物プランクトンが増殖しにくい状態への水質改善を行う。実施方法の例としては、閉鎖性水域において、沈水植物が繁茂し湖流が滞留することを防ぐために、沈水植物を除去する等の方法が挙げられる。

ただし、琵琶湖は多様な生物が生息していること、また治水や漁業等多方面と密接に関係していることから、各方面への影響を考慮し、科学的知見による確認を行い慎重に適応策を検討する必要がある。

8.5.3.3 水道における対応

浄水処理を強化することで異臭味物質を除去し、水道の異臭味を抑制する。琵琶湖では、粉末活性炭を注入する等実施して異臭味物質の除去作業を行っている。

ただし、粉末活性炭は高コストであり長期間の保存が難しいため、今後新たな技術の開発や予測技術の発達等、費用対効果の検討が必要である。また、アオコの発生規模や期間の拡大により、既存設備で対応可能か検証が必要である。

8.5.3.4 適応策を実施する上での留意点・制限事項

新しい適応策の検討には、予測技術と適応策の両方の科学的知見やデータが不足しているため、現段階では既存の対策でしか対応出来ない。また、早期発見・湖流の調整・水道における対応等、各分野の対策を重視し、技術開発や水質形成メカニズム解明を含めた研究の推進が求められる。

8.6 引用文献一覧

- ・ 北村友一, 南山瑞彦(2012):地球温暖化が湖の水質に与える影響－霞ヶ浦と琵琶湖の約30年間の水質データの統計解析－. 土木技術資料, 54-3, 6-9
- ・ 吉田陽一, 中原紘之(1995):琵琶湖における優占植物プランクトンと DIN:DIP 比等との相互関係. 日本水産学会誌, 61(4), 561-565
- ・ 藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆一(1995):全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係. 水環境学会誌, 18(11), 901-908
- ・ 工藤勝弘, 河上智行, 山田正(2004):ダム貯水池におけるフォルミディウムとカビ臭. 水文・水資源学会誌, 17(4), 331-342
- ・ 南條吉之, 田中賢之介, 福田明彦, 宮原典正(1993):アオコの増殖と水温の関係. 鳥取県衛生研究所, 33, 52-54
- ・ 山田直樹, 青山幹, 山田益生, 浜村憲克(1985):天然水のカビ臭に関する研究(第1報) Phormidium tenue の増殖特性とカビ臭産生について. 水質汚濁研究, 8(8), 515-521
- ・ 村上敬吾(1991):中禅寺湖の淡水赤潮. 水質汚濁研究, 14(5), 8-12