

気候変動に伴う農業用水の
水質に関する適応策検討

農業用貯水施設における アオコ対応参考図書

農村振興局農村環境課

平成 2 4 年 3 月

農林水産省

はじめに

平成 19 年に公表された IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第 4 次報告においては、気候システムに温暖化が生じていると断定するとともに、地球温暖化の加速的な進行が水・生態系・食料・沿岸域・人の健康に深刻な影響を及ぼすと予測されています。

また、平成 20 年 1 月に公表された「農業農村整備における地球温暖化対応策のあり方」（「農業農村整備における地球温暖化対応検討会」における検討結果報告）では、地球温暖化、気候変動により、農地、農業用水、土地改良施設にも様々な影響が生じると予測・懸念されており、気温上昇による農業用水への影響としては、ダム貯水池やため池の水温上昇が富栄養化やアオコの発生を増大させるとされています。

既に、アオコは、主に夏から秋にかけて多くの水域で発生しており、ダム貯水池、ため池、調整池などの農業用貯水施設でも、多くの施設で発生が確認されています。発生程度が著しい場合には、水利用面に影響を及ぼす可能性があるほか、悪臭の発生や景観面への影響を及ぼす可能性もあります。

アオコ発生防止の抜本的な対策は貯水施設の水質改善で、このためには流域全体での取組が必要です。アオコが発生した場合には、貯水施設を管理されている方々に様々な対応が求められる場合があります。この図書は、管理者の方々が対応をとる場合に参考となる情報や留意事項などを掲載したものであり、参考として活用いただければ幸いです。

目 次

1 章 アオコとは.....	1
1.1 アオコとは.....	1
1.2 アオコの発生・増殖のメカニズム.....	3
1.3 アオコが発生しやすい貯水施設の特性.....	5
1.4 アオコ発生による影響.....	6
2 章 アオコ発生への対応.....	10
2.1 アオコ対応の流れ.....	10
2.2 各段階の対応の内容.....	11
3 章 対策の必要性の判断.....	29
3.1 検討の手順.....	29
3.2 アオコのレベルと生じる影響との関係.....	30
3.3 影響を受けやすい貯水施設の特性.....	33
4 章 対策の選定.....	34
4.1 対策の種類.....	34
4.2 対策の適用性.....	37
4.3 個別対策の内容.....	39
4.4 参考技術事例.....	66
参考 1 住民説明用配布資料（案）.....	73

図書の構成

1章 アオコとは：

アオコ及びその発生についての基礎的な情報

2章 アオコ発生への対応：

アオコ発生への対応として、必要な調査や確認方法に関する情報

3章 対策の必要性の判断：

アオコレベル等と生じうる影響や被害との関係、影響や被害が生じやすい貯水施設の特性など、対策が必要かどうかを判断する際に活用できる情報

4章 対策の選定：

どのような対策をとればよいかを判断する上で参考となる情報

参考 住民説明用配布資料（案）

アオコ被害が生じたときの、貯水施設周辺・下流住民や、水利用者への説明資料（案）

1章 アオコとは

アオコが発生した場合には、水利用者の方や周辺住民の方からアオコについての質問や問い合わせがある場合が考えられます。

この章では、アオコについて知っておくべき基礎的な情報とともに、アオコによる各種影響（農作物、施設等への影響）に関する情報について紹介します。

1.1 アオコとは

富栄養化した湖沼や池で、水温が 20℃以上になる初夏から盛夏にかけて、水の表面が緑色の粉をふいたようになり、ひどい場合は、緑色のペンキを流したような厚い層が水面上に形成されることがあります。この現象のことを『アオコ』と呼び、主に藍藻類が異常増殖して起こります（図 1 参照）。

アオコは主に、ミクロキスティスやアナベナなどの藍藻類により構成されています。

アオコと同じように湖沼や池で微細藻類が大量発生して水が着色する現象としては、渦鞭毛藻類等による「淡水赤潮」が知られています（表 1 参照）。また、アオコや淡水赤潮のように、藻類が大量発生して着色する現象を「水の華」とも言います。

アオコを引き起こす藻類には毒性物質を含むものもあり、ミクロシスティン（ミクロキスティスの一部に含まれる）やアナトキシン（アナベナの一部に含まれる）などがそれに該当します。日本国内における被害事例の報告はありませんが、海外では、アオコの入った水を家畜が飲んで死亡するといった被害事例が報告されています。飲料水として使用する場合は処理に注意が必要です。

出典：ダム貯水施設の水環境 Q&A なぜなぜおもしろ読本（財）ダム水源地整備センター、環境影響評価情報支援ネットワーク 環境省総合環境政策局

<http://www.env.go.jp/policy/assess/6term/index.html>



図 1 アオコの発生

表 1 アオコおよび淡水赤潮に関係する藻類とその主な種類

現象	原因藻類	主な種類
アオコ	藍藻類	ミクロキスティス、アフアニゾメノン、アナベナ等
	緑藻類	クロレラ、セネデスムス、クラミドモナス等
淡水赤潮	珪藻類、緑藻類	
	渦鞭毛藻類、ユーグレナ藻類等	セラティウム、ペリディニウム、ユーグレナ、ウログレナ等の赤色、赤褐色、黄褐色の色素体を持った種類
	動物プランクトン	ミジンコ、ゾウミジンコ

出典：ダム貯水施設の水環境 Q&A なぜなぜおもしろ読本（財）ダム水源地整備センター

ミクロキスティス属

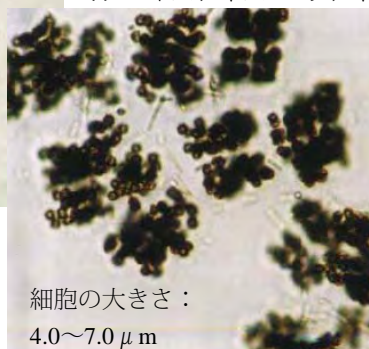
粒状の細胞体が球状・立方体状に群体を形成。

ミクロキスティス エルギノーサ



細胞の大きさ：2.5～9.5 μm

ミクロキスティス ビリディス



細胞の大きさ：
4.0～7.0 μm

アフアニゾメノン属

円筒形の細胞体が細長い群体を形成。

アフアニゾメノン フロスアクアエ

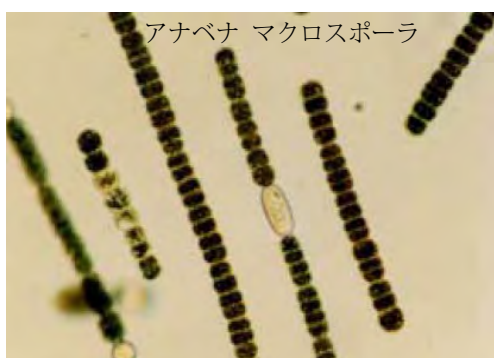


細胞の直径：
4.0～7.0 μm
細胞の長さ：
5.0～15.0 μm

アナベナ属

粒状の細胞体が糸状体あるいは束状の群体を形成。

アナベナ マクロスポーラ



細胞の
大きさ：
5.0～
14.0 μm

アナベナ フロスアクアエ



細胞の直径：
4.0～8.0 μm
細胞の長さ：
6.0～8.0 μm

※藍藻類の種類は形状の特徴からある程度は判別することが可能です。なお、藍藻類の色は発生段階により緑色から茶色に変化します。

図 2 アオコに関する主な藍藻類

出典：琵琶湖アオコの同定法、計数法、評価法 平成 17 年 11 月 30 日

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター：一瀬 諭

<http://www5f.biglobe.ne.jp/~lakebiwa/seminar/seminar051130pre.pdf>

1.2 アオコの発生・増殖のメカニズム

流域からの栄養塩（窒素、リン等）の流入によって、貯水施設内の栄養塩の濃度が高まり、さらに水温や日射量、滞留時間等の条件が揃ったときに、植物プランクトンが増殖します。アオコの発生は、主に藍藻類が異常増殖した場合に起きる現象です（図 3 参照）。

アオコの発生を抑制するためには、流域から貯水施設に流入する生活排水等の栄養塩を減らすとともに、貯水施設内の水の滞留を防ぐなど、アオコが発生・増殖しにくい環境をつくるための対策を行う必要があります。

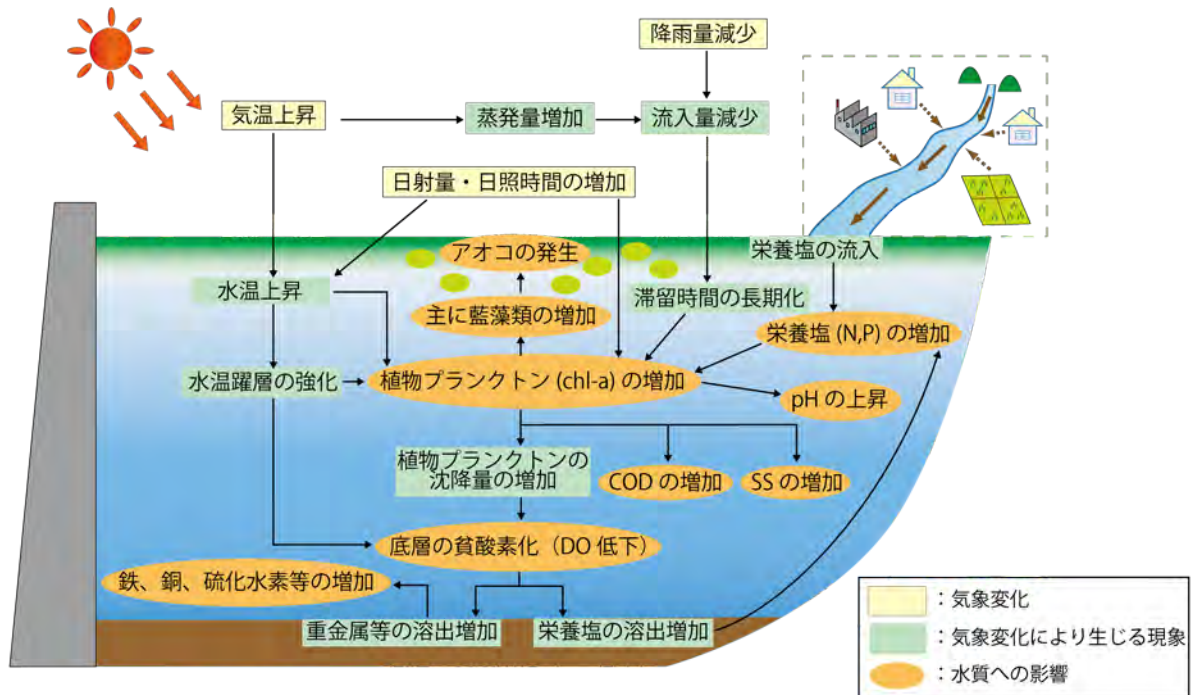


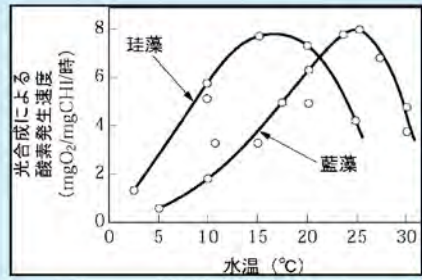
図 3 アオコ発生・植物プランクトン増殖の仕組み

アオコをつくる主な藍藻類であるミクロキスティスは、水温が 20℃を超えると増殖を始め、25℃を超えると大発生が始まることが知られています。また、光合成により藻類が成育するためには十分な日射量が必要です。ミクロキスティスは一般的に梅雨明けの夏季に増殖し、アオコを生じさせ、秋になり、水温や日射量が減ると衰退していきます。

アオコは、珪藻類や緑藻類など他の植物プランクトンとの競合や、動物プランクトンによる捕食など、様々な生き物の相互関係で発生するため、水質や気象等の条件が同じでも発生や終息の時期が異なったり、年によって出現したり、しなかったりします。

アオコが増殖しやすい環境

- ・適度な水温であること：藻類の光合成による細胞増殖速度は一般に水温の上昇とともに高くなるが、ある限界を超すと低下する。
- ・日射が十分あること：藻類の成長には十分な光を必要とする。水中照度は水深によって低下するため、光が十分な場所で増殖し、光の減少につれて暫減する。強光下では逆に光合成が低下する強光阻害という現象もある。
- ・豊富な栄養塩があること：栄養塩類は生物の増殖に不可欠な塩類であり、主に貯水池では、りんや窒素が藻類の細胞増殖への寄与が高い。
- ・滞留時間が十分にあること：貯水池の滞留時間が短ければ、藻類が増殖する前に流出するため、異常な増殖は起こらない。OECDの報告書（1982）では滞留時間が3～5日以内だと増殖しないとしている。

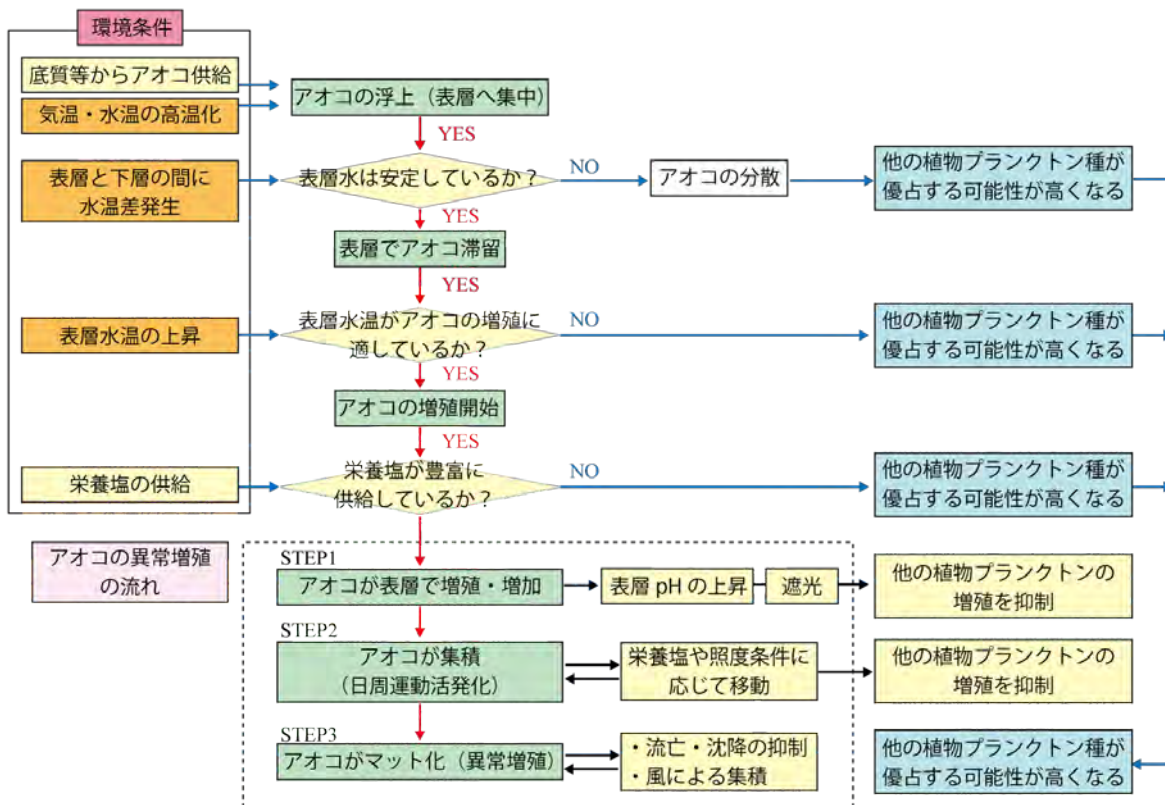


図：珪藻および藍藻の光合成—水温曲線

出典：『水界植物群落の物資生産Ⅱ —植物プランクトン—』、1973、p.51、有賀祐勝、「湖沼の珪藻および藍藻の光合成 - 温度曲線」

Eutrophication of Water, Monitoring, Assessment and Control, 1982. OECD

図 4 アオコが増殖しやすい環境の特徴



※このフローはアオコの増殖過程を示しています。気温・水温や栄養塩といった環境条件によってアオコは増殖し、照度や風による影響を受けて、さらに増殖・集積します。また、異常増殖して厚いマット状（層状）になったアオコが湖面を覆うと、景観・悪臭等の問題が深刻になります。アオコの増殖により、他の植物プランクトンの増殖は抑制されます（p.18 見たいアオコ指標レベル参照）。

図 5 アオコの増殖メカニズムと異常増殖に至る環境条件

1.3 アオコが発生しやすい貯水施設の特性

アオコが増殖しやすい環境条件を踏まえると、下記のような特性をもつ貯水施設の場合、アオコが比較的発生しやすい環境にあるといえます。

表 2 アオコが発生しやすい貯水施設の特性

条件	貯水施設の特性	アオコの現象
水理	<ul style="list-style-type: none"> ・滞留時間が長い。 (ダム貯水施設で5日間程度以上⁽¹⁾) ・出水の流入頻度が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・滞留時間が長いと、アオコが増殖しやすい。
栄養塩 (窒素・リン濃度、N/P比)	<ul style="list-style-type: none"> ・流域からの栄養塩の流入量が多い。 (特にリンの濃度) ・代かき、田植え時期の水田からの排水の流入が多い。 ・生活排水、畜産排水の流入が多い。 ・N/P比*が7~10程度になっている。 *湖沼・貯水池の水中における全窒素(T-N)と全リン(T-P)の濃度の比率。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アオコの栄養となる窒素、リンが豊富にあるとアオコが増殖しやすい。 ・藻類は、一般にN/P比7~10程度のとき増殖しやすい⁽²⁾。
水温	<ul style="list-style-type: none"> ・貯水施設に日陰がなく、表層水温が温まりやすい。 ・初夏から初秋にかけて、貯水施設内の表層と下層の間に水温(密度)差による層(水温躍層)が生じやすい(これにより上下層の水交換が進まないため高水温になりやすい)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アオコの原因藻類は高水温(25℃程度)を好む種が多く、アオコが増殖しやすい。
底質	<ul style="list-style-type: none"> ・底質がヘドロ化等により、悪化している。 ・建設年度が古い(堆積している有機物が多い)、または長期間浚渫を実施していない。 ・底層の溶存酸素(DO)濃度が低い(リンの溶出を促進する)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・湖底からの栄養塩の供給が多いと、アオコが増殖しやすい。 ・アオコの原因藻類は、水温が低下すると湖底に沈降し、越冬するため、これが底質に多く蓄積されていると、アオコが発生しやすい。

出典 (1) ダム貯水池における淡水赤潮とアオコの発生機構および対策について 井芹 寧 九州技法第23号(1998.7)

(2) 湖沼工学 岩佐義朗 山海堂 p.275

1.4 アオコ発生による影響

(1) アオコの発生による影響や被害

アオコの発生によって、図 6 のような影響が生じる可能性があります。

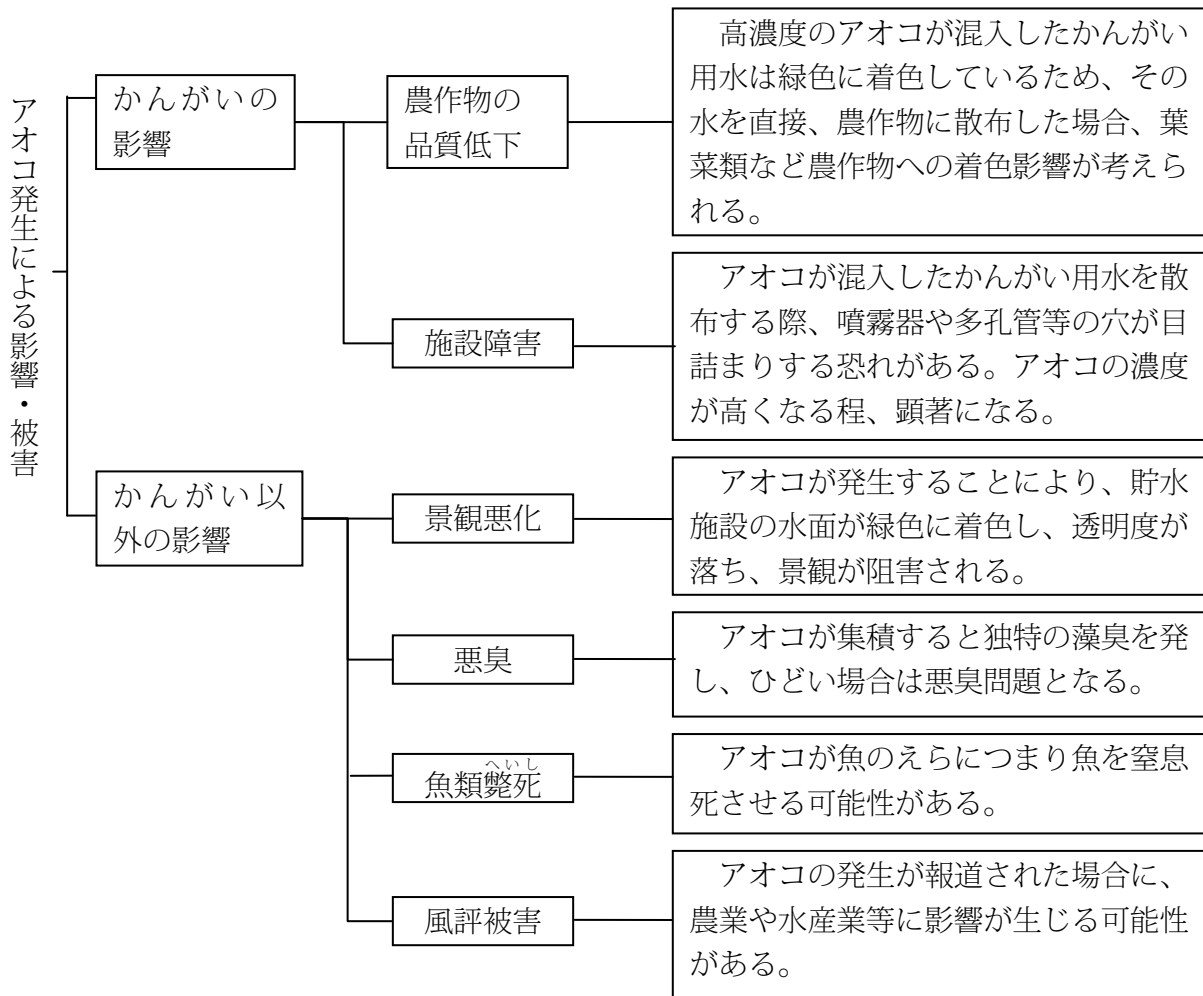


図 6 アオコ発生による影響・被害

出典：畑作物の水質環境 食の安全とおいしさを求めて 鈴木光剛

畑地灌漑用水の水質とその適正限界 平成 5,6 年度科学研究費補助金

研究成果報告書 研究代表者 鈴木光剛

ダム貯水池における淡水赤潮とアオコの発生機構および対策について

井芹寧 九州技報第 23 号 (1998 年 7 月)

環境研ミニ百科第 50 号 湖沼における窒素の循環

http://www.ies.or.jp/publicity_j/mini_hyakka/50/mini50.html

(2) アオコ発生による影響に関する被害事例

平成 21 年度に全国の農業用貯水施設（143 施設）の管理者の方を対象にして行ったアオコ発生による影響に関するアンケートでは、23%の施設で被害があったとの回答がありました（図 7 参照）。被害の内容としては、悪臭の発生、景観の悪化の順に多く、次いでかんがい施設の目詰まり等の施設障害という回答が多くなっていました（表 3 参照）。

アオコ発生程度がひどい場合には、悪臭等の被害が生じ、新聞等で報道されているケースもあります（表 4 参照）。

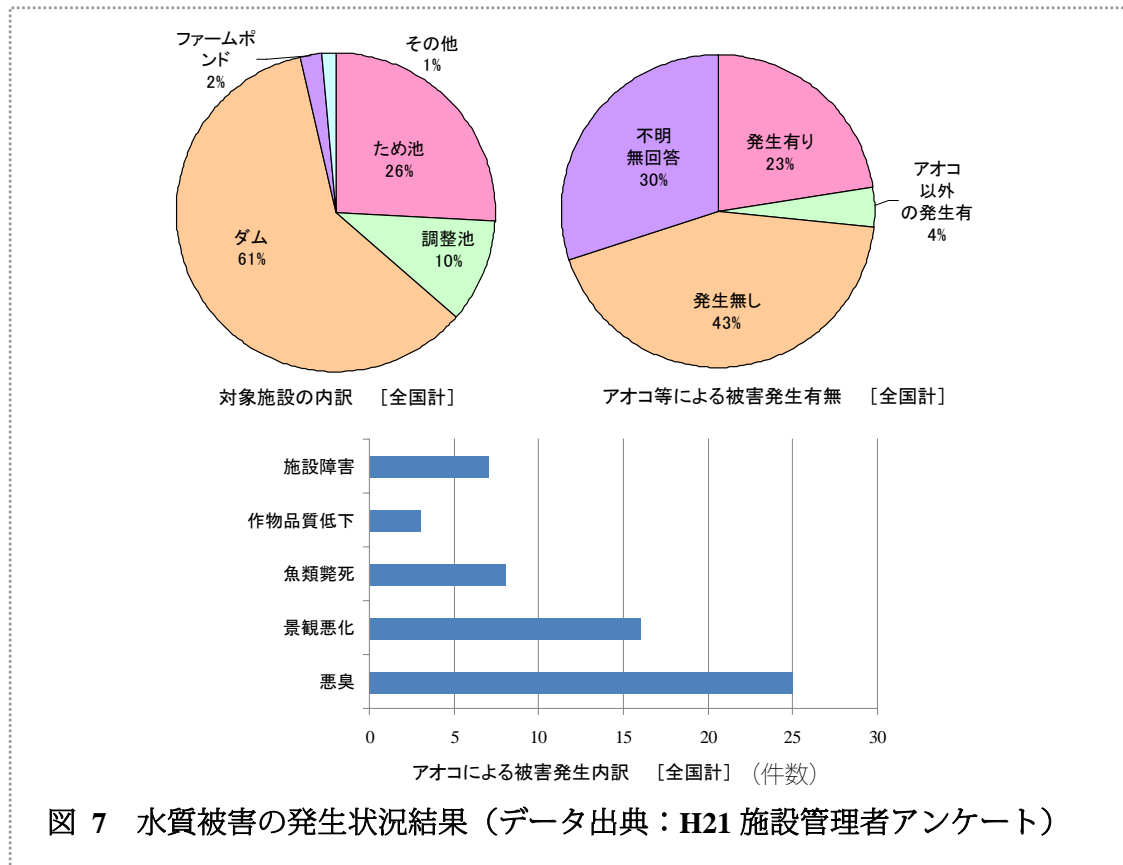


図 7 水質被害の発生状況結果（データ出典：H21 施設管理者アンケート）

表 3 アンケートで回答のあったアオコ発生の影響・被害

区分	影響・被害の内容
農業面の影響	<ul style="list-style-type: none"> 農作物の風評被害 点滴かんがい施設の目詰まり ストレーナーの目詰まり
農業外の影響	<ul style="list-style-type: none"> 近隣住民から異臭により家の窓が開けられない等の苦情 貯水施設内における魚の斃死 景観の悪化に対する苦情（特に貯水施設が親水利用されている場合は影響大） 貯水施設下流の浄水場でろ過障害が発生 水道用水に異臭が発生

表 4 アオコ被害に関する新聞記事

見出し	新聞記事の概要	備考
アオコで水道水に異臭 宝塚市民から苦情相次ぐ	<p>宝塚市は 24 日、市民から「水道水が土臭い」といった苦情が 22 日以降 64 件寄せられた、と発表した。市上下水道局によると、苦情は市惣川浄水場（同市すみれが丘 4）の配水地域からで、水源の貯水池に「アオコ」が異常発生したことが原因とみられる。同局は人体に影響はないとしている。</p> <p>同局は 22 日から、活性炭を増量しており、24 日午後 5 時現在、臭気の数値は正常に戻っているという。</p>	2011/8/25 神戸新聞朝刊
霞ヶ浦、悪臭に苦情 アオコ回収追い付かず	<p>『土浦市、休み返上で作業』</p> <p>霞ヶ浦・北浦でアオコが大量発生している問題で、腐敗して悪臭を放つアオコが土浦市内の河川でも増え続けており、市民から市に苦情が殺到。市はお盆休み返上で回収に当たる。</p> <p>市民からは「臭い」、「窓を開けられない」、「洗濯物や布団を干せない」などといった苦情が 12 日までに数百件寄せられている。</p>	2011/8/13 茨城新聞朝刊
アオコ：館林で大量発生 苦情で県、市が除去対策	<p>館林市の城沼や鶴生田川などでアオコが大量に発生し、近隣住民から「窓を開けると悪臭が家中に広がる。何とかしてほしい」などと苦情が寄せられている。アオコがこれ以上広がるのを防ごうと、県と市などは除去対策に乗り出している。</p> <p>『城沼でコイ浮く』</p> <p>アオコは水全体を緑色や茶褐色に変色させる微小な藻類。水温が 25～35 度に上昇し、栄養分を含んだ家庭からの排水が流入すると大量に発生する。放置すると繁殖し、過密状態が続くと腐敗して悪臭を放つ。城沼では酸欠で死んだコイなどが多数、浮かんでいる。</p>	2005/7/20 毎日新聞地方版群馬
アオコ田瀬湖（東和）覆う 悪臭・酸欠・景観も損なう 過去最大の発生 魚の被害報告なし	<p>東和町の田瀬湖で、植物プランクトンが異常増殖する「アオコ」が、過去にない規模で大発生している。現在は湖面一面が緑色の状態だ。アオコの大発生は湖水が滞留しやすいダム機能上の問題に加え、今夏の好天が要因とみられる。かんがい用水への影響や淡水魚の死滅被害などは確認されていないが、悪臭や景観・湖面利用上の支障が懸念され、北上川ダム統合管理事務所は監視を強化している。湖畔には釣り公園やヨットハーバーもあり、関係者は頭を痛めている。</p>	2005/9/24 岩手日報朝刊

見出し	新聞記事の概要	備考
アオコ大量発生、緑川ダム 7月からの少雨と猛暑原因 悪臭に観光客から苦情も	<p>下益城郡砥用町の緑川ダムの湖面に微小藻類アオコが大量に発生、いたる所で湖面が黄緑色に変色している。アオコは七月中旬から見られるようになり、八月中旬に最も繁茂した。ダム湖では十年ほど前からほぼ毎年アオコが発生しているが、町によると「ここまで異常に変色したのは初めて」という。</p> <p>ダム湖畔にキャンプ場がある砥用町は「観光客から悪臭がするとの苦情を受けている。このような状態が長く続くと町のイメージダウンになる」と頭を抱えている。</p>	1998/9/3 熊本日 新聞 朝刊
アオコ勢力衰えず 湖岸に吹きだまり悪臭被害の心配も 網走湖	<p>網走湖のほぼ全域で発生が観測された植物プランクトンの異常発生・アオコは、確認してから三日たった二日も、依然衰えを見せていない。風下の湖岸沿いには、吹き寄せられたアオコがたまり始め、水面は緑色に染められている。</p> <p>またアオコが多く吹き寄せられているのは、網走市呼人地区から女満別町湖南地区を中心とした湖の東側。風に流されながら、時速一キロ以下のペースでゆっくり漂っており、悪臭の被害が心配される。</p>	1996/9/3 北海道 新聞 朝刊