

魚のへい死事象における水質調査*

—とくにため池での事例について—

斎藤 直己**・北村 雅美**・藤田 和男**

キーワード ①魚へい死 ②水質測定項目 ③植物プランクトン ④酸素欠乏
⑤アンモニア毒性

要 旨

河川等における魚類のへい死事象について、原因を特定するため水質測定項目の選定マニュアルを作成した。また、富栄養化したため池等の閉鎖性水域においては、植物プランクトン等の増殖に伴う底層域における溶存酸素不足、pH上昇に伴うアンモニア毒性やその他気象条件などの要因が重なり、へい死事象が生じるものと推測された。

1. はじめに

住民等から河川等の水質に異常があるのではないかとの問合せがあった場合、そのほとんどは河川等が着色していたか、魚のへい死がみられたケースで占められている。とくに、当センターにおいてガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)による農薬等の一斉分析¹⁾が可能となって以降は、魚のへい死事象について原因究明のための水質調査件数が急増している。しかも、多種の分析項目にわたる試験検査とともに、水質の安全性等についてより多くの情報提供が求められている。

このため、原因を早急に特定するには、急性毒性等に的を絞った迅速な対応・試験検査が必要であり、へい死の際の水質測定項目の選定について所要の手順等を定めたので紹介するとともに、実際に生じた事例等から推定されるへい死の要因について報告する。

2. へい死事象の対応

2.1 現地調査

発生場所において、通報を受けた担当者は魚種やその数を把握するとともに、疑わしい要因を考慮の上、水質検査の必要性の有無や必要と判断された場合は、その測定項目等を選定することになる。

2.2 測定項目

現場の状況等からへい死の直接的要因となり得る項目を絞り込み速やかに試験検査を行う。その選定フローを表1に示した。

農薬については周辺での使用が特定できない場合は、通常は殺菌剤18種類、殺虫剤40種類、除草剤34種類の92種類を一斉分析の対象としている。ここで、砒素等重金属類は事業場の事故等での漏洩以外では魚のへい死は生じないものとし、慢性毒性物質と考えて、直接的原因となる項目からは除外している。

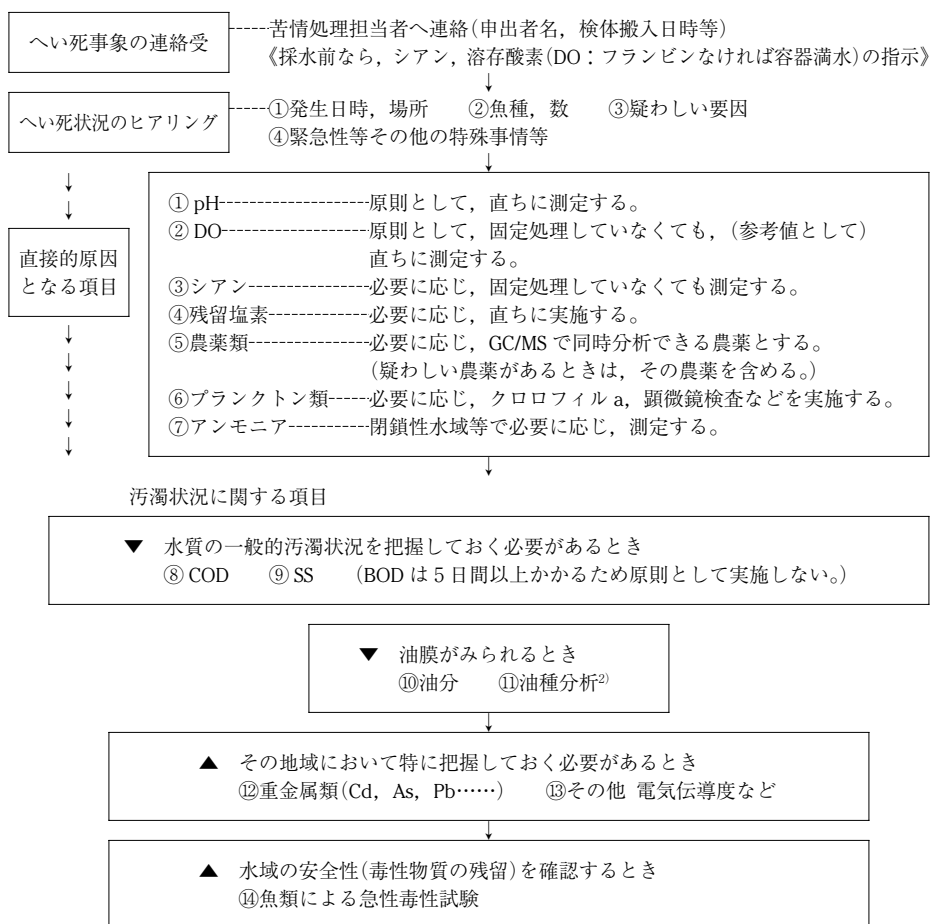
2.3 検査結果

直接的要因と考えられる項目については、当セ

*Water Reserch on the Death of Fish—in the cases of the conserve ponds—

**Naomi SAITO, Masami KITAMURA, Kazuo FUJITA (岡山県環境保健センター) Okayama Prefectural Institute for Environmental Science and Public Health

表1 魚のへい死事象における水質測定項目の選定



ンター搬入後, できるだけ速やかに結果が判明するよう検査態勢を整備しているが, 検体数が多い場合やその他の検査項目が加わればそれに応じて検査結果は多少遅れることとなる。

また, 魚類による急性毒性試験を並行して行うておくことは原因が特定できなかった場合でも水域の安全性を確認することが可能である。

さらに, 測定が比較的簡単で, イオン量から水の混合状況等の情報を得ることができる電気伝導度等の必要な検査を行うこととしている。

3. へい死事例

本県は年間を通じて晴れの日が多く, 雨量が少ないため, 全国的にも農業用ため池が多く, 近年, ため池での魚類のへい死事象が多発している。

へい死の要因は①有害物質死, ②酸素欠乏死,

③疾病死に大別されるが, ため池の水質特性として底層部では溶存酸素が低くなることが知られている³⁾。ここでは, 有害物質等が検出されず, 酸素欠乏によると思われる事例を報告する。

3.1 水質調査結果

3.1.1 KM町のため池(S池)

2004年8月, S池(面積1.7ha, 水深3.5m)でフナなど約200匹がへい死した。2003年9月にも同様の事象が発生していたため, 底層水を採取するなどの調査を実施した。

調査地点を図1, 水質調査結果を表2に示すが, 全般的にCOD濃度が高く, 富栄養化していることがわかる。池の表層水では植物プランクトンの光合成のため, 昼間は溶存酸素が過飽和状態となっているが, 底層では酸素不足を呈している。通常, 夜間は植物プランクトンも酸素呼吸す

るため溶存酸素不足がより著しくなると考えられているが、明け方の値はそれほどの低値を呈していなかった。しかし、**図2**、**図3**のとおり、pH、DOともに、昼夜の水質変動が大きいことを示していた。

3.1.2 KN町のため池(M池)

2003年5月9日の朝にM池(面積2.5ha、水深3m)で、数cmから40cmのフナなど約3,000匹がへい死しているのが確認され、水質検査を実施したが毒性物質は検出されなかった。22日に底層水等を採取した水質調査地点を**図4**、水質調査結果を**表3**に示すが、池の流入水のCODは10~12mg/lであるが、その他の地点では13~17mg/lと高かった。池の状況は一年生の浮葉植物のヒシが水面の大部分を覆い、富栄養化がかなり進行して

いた。

溶存酸素(DO)については、水温20~30℃の飽和と溶存酸素量8.8~7.5mg/lを超え、昼間には最大値14mg/lを示す地点があるなど、過飽和状態

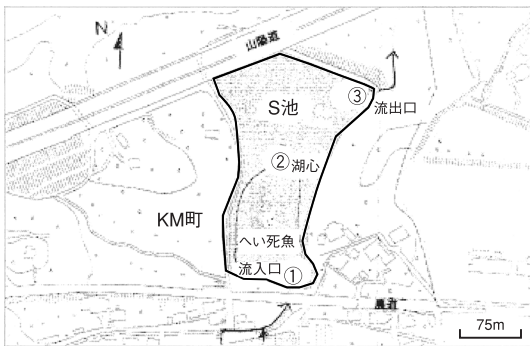


図1 KM町S池の水質調査地点

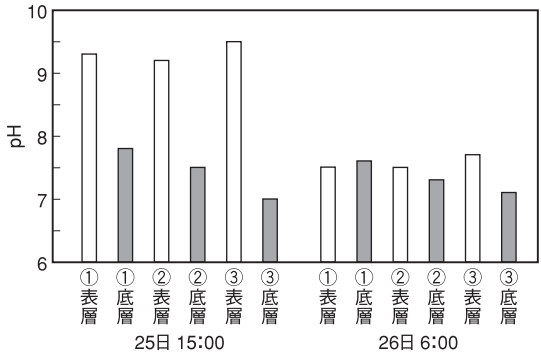


図2 S池におけるpHの変化

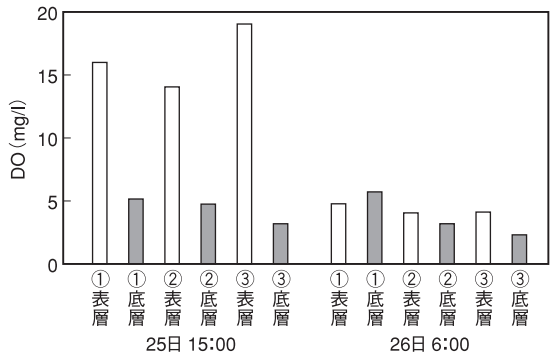


図3 S池におけるDOの変化

表2 KM町S池の水質調査結果(2004/8/25~26)

採取場所・番号 水深 cm	S池 流入 ① 140		S池 湖心 ② 190		S池 流出 ③ 300		
	10 表層	120 底層	10 表層	170 底層	10 表層	280 底層	
pH	夕	9.3	7.8	9.2	7.5	9.5	7.0
	朝	7.5	7.6	7.5	7.3	7.7	7.0
DO(mg/l)	夕	16	5.1	14	4.7	19	3.2
	朝	4.7	5.7	4.0	3.2	4.1	2.3
COD(mg/l)	夕	29	14	15	13	18	12
	朝	12	14	12	14	11	14
T-P(mg/l)	夕	0.52	0.3	0.28	0.28	0.28	0.53
	朝	0.19	0.25	0.22	0.36	0.21	0.58
NH ₄ ⁺ (mg/l)	夕	0.02	0.17	0.02	0.20	0.03	1.7
	朝	0.11	0.14	0.07	0.23	0.10	1.4

・採水時間 夕：15~16時 朝：5~6時
 ・水温 夕：28~31.5℃ 朝：26.5~29℃

表3 KN町M池の水質調査結果(2003/5/22)

採取場所・番号 水深 cm	流入口 ① 40	M池 南 ② 110		M池 西 ③ 180		M池 北 ④ 150		M池 湖心 ⑤ 300		
採取位置 区分 cm	10 表層	10 表層	90 底層	10 表層	160 底層	10 表層	130 底層	10 表層	280 底層	
pH	朝	7.2	8.6	8.6	9	9	8.3	8.1	9	7.6
	夕	8.5	9.4	9	9.4	8.9	9.8	9	9.6	9
DO(mg/l)	朝	7.2	9.4	9.5	10.8	10.6	6.9	7	10.4	3.1
	夕	10	14	9.7	14.4	8.7	14.4	7.6	14.3	5.5
COD(mg/l)	朝	10	13	16	14	14	13	13	14	15
	夕	12	17	16	16	15	17	15	15	14
備考		ひしが一面		ひしが一面		ひしが一面		底質はヘドロ状		

・採水時間 朝：5～6時，夕：16～17時
 ・気温 朝：14℃，夕：21℃
 ・水温 朝：20～22℃，夕：21～24℃

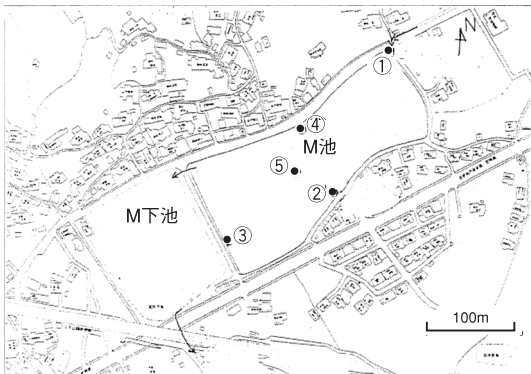


図4 KN町M池の水質調査地点

となっていた。これは水中での植物プランクトンの光合成のためで、逆に、池の底はヒシや植物プランクトンの繁殖により太陽光が遮断され溶存酸素不足と考えられた。とくに夜間においては、植物プランクトンも酸素呼吸を行うことから酸素消費が行われ、早朝にDOは最低濃度に降下すると予想された。当調査において、調査日の22日早朝の湖心底層のDOは3.1mg/lとなっており、通常の湖沼水質悪化のメカニズムといわれている池底層の溶存酸素不足の状況を呈していた。

DOについての水産用水基準では、底生魚類の致死濃度は1.5mg/l、魚類の生理的变化を引き起こす臨界濃度は3.0mg/l⁴⁾とされており、当該池の底層では魚類の棲息が困難な状況が生じていたと考えられた。

3.2 気象条件

3.2.1 KM町S池

2004年8月中旬の気象状況をKM町にもっとも近いアメダス局のデータからみると、台風が過ぎた3日以降へい死が確認された17日までは最高気温が30℃を超える真夏日が続いていた。時に夕立等にわか雨が記録されており、特徴的な気象状況の変化はみられていなかった。

3.2.2 KN町M池

2003年5月初旬のKN町の気象状況をもっとも近いアメダス局のデータからみると、5月に入り気温は上昇し、3日からは最高気温が25℃以上の夏日となり、5日には最高気温は29.4℃を記録したが、7日の15時に27.4℃を記録してから気温は下がり続け、大量の魚のへい死事象が発見された9日の朝5時には6.5℃と実に20.9℃も気温が急激に低下している。この間、8日には35mmの降雨があり、日照時間はなく、日中でも気温は15.6℃までしか上昇していない状況であった。なお、気温差は県南の岡山市では18.9℃、県北の津山市では16.5℃であった。

3.3 その他の要因

両方のため池はともに富栄養化が進み、溶存酸素不足がみられているが、へい死魚のほとんどを占めるフナ、コイは、比較的溶存酸素の低下には強いとされており、体力の低下や酸素取込み能力の変化など他の要因も考慮しなければならない。

3.3.1 アンモニアの濃度

亜急性毒性と考えられているアンモニアの両池における濃度は表4のとおりである。アンモニアは分子型の時に魚毒性を発揮し、急性では神経に興奮性に働き、魚はバランス感覚を失い狂奔遊泳し、呼吸・心拍出量ともに増加し過呼吸状態に陥り、極端な場合では、その後けいれんを起こし昏睡状態となり死に至るとされている⁵⁾。また、アンモニアは強い細胞毒を有しており、分子状のアンモニアは血中のヘモグロビンと酸素の結合力を低下させる効果があるため、酸血症(アシドーシス)の原因物質となる⁶⁾。水産用水基準に係る有害物質として、全アンモニアの基準値はpH8において1.0mg/l未満⁷⁾とされている。

3.3.2 フナの生態

ギンブナ、ゲンゴロウブナは4～6月が産卵期で、大雨のあと水草や浮遊物に産卵するとされており、M池では大量へい死事象発生日の前々日23時から前日の9時にかけて36.5mmの雨量を記録していることから、フナは産卵を行い、衰弱していた状態にあったものと考えられる。

3.3.3 水の動き

湛水域では晴天・弱風の日が続くと一時的に水温成層化が起こるとされている⁸⁾。一般的に、水温成層化が起こるにはある程度水深(ダム湖等)が必要であるが、小さな止水域である水深の比較的浅い農業用貯水池でも、5月と11月の水温垂直分布は自然の湖沼と同じような傾向を示すことが知られている。また、8月の貯水池の水温垂直分布は、灌漑用水として表層水が引水されることで表水層が発達せず、水温成層が発達しにくいとされている⁹⁾。KM町S池の場合、農業用とされているものの、灌漑用水として利用されることがなくなってきており、表水層の引水などの人為的な水の動きは無いので、8月の高温が続く期間に水

温成層が発達している可能性はある。富栄養化したため池ではその間、表層では植物プランクトンが増殖し、その死骸の多くは底層に沈んでいくが、浅い湖沼等ではその分解が底に沈むまでには間に合わず、分解中の死骸が底層に蓄積される。それらを底層の微生物が分解する際に酸素が消費され、底層はますます溶存酸素が少なくなってくる。

また、嫌気性となった底層ではアンモニアの溶出が起こるが、水温成層化が起こっている場合は底層ほど高濃度になっていると予想される。また、水の密度の観点からも、底質からの溶出が多ければ底層ではその密度が高くなり静的に安定するといえる¹⁰⁾。

底層では光が届きにくく、光合成が起こりにくいのでpHも中性に近く、アンモニアはイオン型として存在しているが、表層では光合成が活発に行われるためpHはアルカリに傾いている。

4. 考 察

アンモニアについては、遊離アンモニア(分子型)が増加することが魚毒性を増加することであり、図6に示すとおり、pH7程度から存在し始め、pH10では85%が遊離アンモニアとして存在する。両方の池ともに、植物プランクトンが繁殖し、底層では貧酸素状態であることから、底質からアンモニアが溶出し、魚類に悪影響を与えていたものと推測できる。

このことを、ヒメダカを用いた試験で確認するため、NH₄Clでアンモニウムイオン濃度0, 3, 5, 7mg/l水溶液(水温27℃)の4個のビーカーを用意し、30mm程度のヒメダカをそれぞれに4匹投入した。24時間後に全ヒメダカの棲息を確認した。再び同濃度にビーカーを調節し、ヒメダカを投入し、図7のようにpH6.2の状態から1%NaOHを

表4 S池およびM池のアンモニアの濃度比較

採水地点	S池流入	S池湖心	M池北	S池湖心		S池流出	
	表層	表層	表層	表層	底層	表層	底層
採水日	03/9/8	03/9/8	04/2/17	04/8/25	04/8/25	04/8/25	04/8/25
NH ₄ ⁺ (mg/l)	1.3	1.4	1.0	0.02	0.20	0.03	1.7
pH	9.3	9.6	6.9	9.2	7.5	9.5	7.0

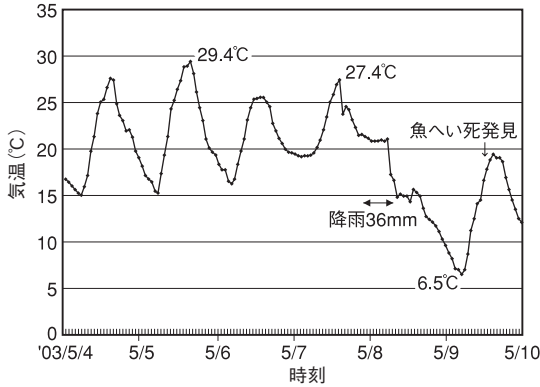


図5 KN町の気温変化

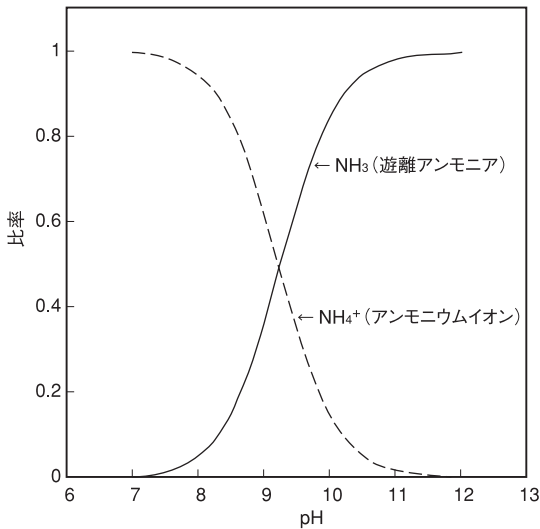


図6 アンモニウムイオンおよび遊離アンモニアの比率

加えてM池で記録されたpH9.8まで徐々に上昇したところ、3 mg/l濃度で1匹、5 mg/lで2匹、7 mg/lでは4匹とも2時間以内にへい死した。当然、ブランク溶液ではへい死はみられなかった。また、室内の水槽においては、水質の富栄養化が進行すると、pHは容易に10.3程度までに達することを観測している。

嫌気性状態の底層域でのアンモニア濃度の詳細データを得ていないが、晴天が続いていた池において、降雨や気温の急激な変化や強風などにより水温成層化が崩れると、底層の高濃度アンモニアや貧酸素水塊との鉛直混合が起きる可能性がある。貧酸素水塊が上昇すれば、魚類は表層へと逃げるが、pHが高い状況にある表層では、底層か

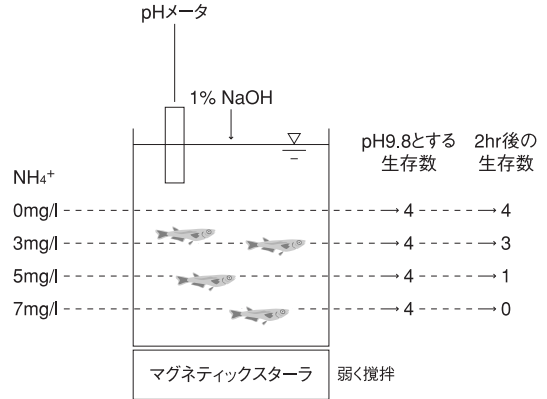


図7 ヒメダカを用いたアンモニア毒性実験

ら上がってきたアンモニウムイオンが分子型で存在することとなり、魚類にとって危険レベルまで達している可能性は十分あるものと考えられた。

また、KN町M池についての要因としては、図5で示すとおり急激な温度低下と産卵で体力を消耗し、動きの鈍っていたフナが底層における酸素欠乏状況により、明け方の大量死に繋がったものと推測された。

5. まとめ

- (1) 魚類のへい死事象における水質測定項目の選定マニュアルを定めた。
- (2) ため池で発生する魚類のへい死について、急性毒物が特定できない場合には以下に示す要因が重なり合って生じるものと推定された。
 - ① ため池の底層では富栄養化の進行とともに、酸素欠乏状況が生じ、魚類等の棲息が困難となる。
 - ② ため池底層からの溶出等によるアンモニアがpHの上昇により、魚類にダメージを与える。
 - ③ 気候の変化や産卵等による魚類の体力低下から、酸素欠乏や疾病に陥る。
- (3) ため池等の閉鎖性水域でのへい死の直接的原因となる水質測定項目にアンモニアの測定を加えることとした。

—参考文献—

- 1) 剣持堅志, 小田淳子, 肥塚加奈江, 鷹野洋, 荻野泰夫, 森忠繁: ゴルフ場農業の分析法, 環境化学, 3, (1), 41-58, 1993
- 2) 剣持堅志, 荻野泰夫, 松永和義, 森忠繁, 緒方正名: 油汚染時における化学成分のスクリーニング分析, 環境化学, 7, (3), 561-576, 1997
- 3) 多田明夫, 畑武志, 田中丸治哉: ため池と小型貯水池の水分・水質特性—小型貯水池が下流域に与える影響—ミニシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」要旨集, pp. 41-46, 2003
- 4) 社団法人日本水産資源保護協会(1989): 漁場環境容量策定事業報告書(第1分冊), 平成元年3月
- 5) QUALITY CRITERIA for WATER 1986(アメリカ環境保護局, US-EPA)
- 6) 西村修: 河川水質環境における栄養塩類, 栄養塩類が河川水質環境に及ぼす影響に関する研究, 財団法人河川環境管理財団, pp. 3-4, 2003
- 7) 社団法人日本水産資源保護協会(2000): 水産用水基準(2000年版)
- 8) 村上哲生, 服部典子: 長良川河口堰湛水域における一時的な水温成層の形成, 応用生態工学会会誌, 4, (2), 179-184, 2001
- 9) 森田浩介, 新井正: 埼玉県比企丘陵地域における農業用貯水池の水温に関する研究, 2002年度立正大学 ORC 報告会発表論文
- 10) 岩佐義朗/編著, 湖沼工学, pp. 6-8, 1990, 山海堂