

ため池での魚のへい死について

Studies on Mass Mortality of Fishes in Irrigation Ponds

藤田和男, 岩藤高志*, 北村雅美**, 斎藤直己 (水質第一科)

*備前県民局環境課, **備中県民局環境課

Kazuo Fujita, Takashi iwadou, Masami Kitamura, Naomi saitou

【調査研究】

ため池での魚のへい死について

Studies on Mass Mortality of Fishes in Irrigation Ponds

藤田和男, 岩藤高志*, 北村雅美**, 斎藤直己 (水質第一科)

*備前県民局環境課, **備中県民局環境課

Kazuo Fujita, Takashi iwadou, Masami Kitamura, Naomi saitou

要 旨

平成19年4月から9月までに魚のへい死やアオコ発生等の水質汚濁事象が確認されたため池において、水質、植物プランクトン種等について追跡調査を実施した。魚のへい死が発生した4カ所の池ではいずれも溶存酸素が回復していた。アオコが発生した3カ所の池のうち2カ所については、10月の追跡調査時にもアオコは減少していなかった。また水質(COD, BOD, 全窒素, 全リン, クロロフィルa)と溶存酸素低下速度とは一回帰の相関があり、魚のへい死は3カ所で溶存酸素低下が原因と推察された。

[キーワード: 魚へい死, ため池, 溶存酸素, COD]

[Key words: mortality of fish, irrigation pond, dissolved oxygen, COD]

1 はじめに

住民等から河川・ため池等の水質に異常があるのでないかとの問い合わせは、ほとんどが魚のへい死がみられた場合とため池等が着色した場合である。特に、当センターにおいて近年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により原因究明が迅速に行われるようになってからは、行政担当者から魚のへい死事象に係る原因究明のための水質調査件数が急増した。水質の安全性等に関する多くの情報を得るため、より多くの項目についての試験検査が求められてきている。

平成19年度には、魚のへい死に関して13件、水域の着色に関して6件の水質汚濁事象が発生した。発生場所は一辺が20~200m程度のため池での事例が12件と最も多く、その他河川が4件、用水路が3件であった。

ため池においては魚のへい死、アオコおよび油膜状の物質の発生がみられたが、これらはいずれも富栄養化による汚濁に起因すると考えられた。本調査では9月以前に水質汚濁事象が発生した8カ所のため池(魚のへい死4件、アオコ3件、油膜状物質1件)について、10から11月にかけて水質、植物プランクトン種等

の追跡調査を実施した。また、魚のへい死事例では溶存酸素の低下が主な要因と考えられたため、富栄養化により汚濁の進行した上記8カ所のため池の水質と溶存酸素低下速度との関係について検討した。

2 方法

平成19年度9月までに魚のへい死、アオコ発生等、富栄養化によると考えられる事象が発生したため池(図1)で、10月から11月にかけて追跡調査のための採水を日中に行い、水質(pH, 溶存酸素, COD, BOD, クロロフィルa, 全窒素, 全リン, 植物プランクトン)を測定した。

また、Wincler法¹⁾により溶存酸素の低下速度を測定した。

3 結果及び考察

3-1 酸素欠乏が明白な事例

5月28日, S市D池でフナ約500尾がへい死した。これに伴い翌29日に採水された検体の検査を実施した。農薬類は検出されなかったが、表層での溶存酸素は4.5 mg/Lと低く、へい死原因として酸素欠乏が疑われた(表1)。

このため5月31日の日中(11:00)に表層及び底層(底から約30cm)の水質測定を行ったところ、底層の溶存酸素は0.8 mg/Lで魚の生息が不可能な値であった。一方表層は7.7 mg/Lと十分な濃度であったため、この時点では酸素欠乏がへい死原因と断定できなかった。そこで翌日の明け方(4:35)に表層水を採水し測定したところ、溶存酸素が1.3 mg/Lと魚の生息は不可能な値であることを確認した。即ち、夜間から明け方にかけて、このため池においては底層から表層まで水域全体にわたり魚類が生息できない程の酸素欠乏の状態となることがわかった。

3-2 追跡調査

上述のD池以外で、当該年度9月までに魚へい死・アオコ発生等の事象が発生したため池8地点について調査を実施した。汚濁事象発生時の水質測定結果を表1、10~11月での追跡調査の結果を表2、植物プランクトン種の調査結果を表3に示し、これらを取りまとめたものを表4とした。

気温は汚濁事象発生時、8地点での平均は28℃であったが、追跡調査時では平均18℃と10℃程度低くなっていた。

pHは採水時の天候や採水時間にもよるが5地点で8~10と高い値であった。1地点(⑤O2池:アオコ)以外では、汚濁事象発生時と追跡調査時とでの変化はみられなかった。

地点別の変化については、次のとおりである。

3-2-1 魚のへい死

①M1池では、魚へい死発生時の溶存酸素測定値はなかったが、追跡調査時の溶存酸素は7.4 mg/Lと特に低い値ではなかった。その他の項目について、全リンが半減していたこと以外は特に著しい変化はなかった。また、植物プランクトン優占種は珪藻綱 *Cyclotella* sp.であった。

②A池では、魚へい死発生時には溶存酸素が3.8 mg/Lと低かったが、追跡調査時には11 mg/Lと過飽和の状態であった。COD、全窒素及び全リンは3~7割程度減少していた。植物プランクトンは、魚へい死発生時は藍藻綱 *Oscillatoria* sp.が優占し、追跡調査時は *Microcystis aeruginosa* が優占していた。

③K池では、魚へい死発生時には溶存酸素が4.5

mg/Lと低かったが、追跡調査時には9.8 mg/Lで過飽和状態であった。また、全リンは4割程度減少したが、pH、COD及び全窒素ほとんど変化していなかった。植物プランクトン優占種は同じ藍藻綱ではあるが、*Lyngbya*属から *Microcystis aeruginosa* に変わっていた。

④O1池では、魚へい死発生時には溶存酸素が3.1 mg/Lと低かったが、追跡調査時には12 mg/Lと過飽和であった。その他の項目では、pHはほとんど変化していなかった(6.4→6.8 mg/L)が、COD、全窒素及び全リンの値が減少していた(COD:20→8.7 mg/L、全窒素:3.2→0.47 mg/L、全リン:0.36→0.069 mg/L)。また追跡調査時には藍藻綱 *Aphanizomenon flos-aquae* が優占していた。

3-2-2 アオコ

⑤O2池では、アオコ発生時には藍藻綱 *Microcystis aeruginosa* が優占していたが、追跡調査(11月)ではアオコは消失し、珪藻綱 *Cyclotella* sp.が優占しており、CODは概ね半減していた。

⑥U池では、追跡調査時には各項目(COD、BOD、全窒素、全リン、クロロフィルa)がアオコ発生時に比べ5~8割減少していたが、これはアオコの減少によるものと考えられる。ただし、アオコは両時点とも、池西側に偏在していたことが観察されており(図1)、池全体の評価にあたっては、採水が池の西側の一地点だけであることに留意する必要がある。また植物プランクトンは、アオコ発生時及び追跡調査時とも藍藻綱 *Microcystis aeruginosa* が優占していた。

⑦N池では、アオコ発生時及び追跡調査時とも藍藻綱 *Microcystis aeruginosa* が優占していたが、追跡調査時にはCOD、BOD、全リン及びクロロフィルaが1.5~2.5倍に増加していた。追跡調査時には、採水ポイントである池南岸では、細胞がフロック状の集塊を形成し、水中に分散している状態であった。また池北岸では依然として *Microcystis aeruginosa* がアオコ状に集積していた。

3-2-3 その他

⑧M2池（油膜状物質）では追跡調査時には表層の油膜状物質は消失していた。測定項目では、全窒素及び全リンが3分の2程度に減少していたが、pHとCODはほとんど変化がなかった。植物プランクトンについては、汚濁事象発生時には緑藻綱（*Scenedesmus quadricauda*）が優占していたが、追跡調査時には藍藻綱 *Microcystis aeruginosa* が優占していた。

以上のことから、水質汚濁等異状事象発生から2～4ヶ月が経過して、8事例中2事例（②A池：魚へい死及び④O1池：魚へい死）の発生時には、水質の各項目は汚濁を示す高い値であったが、追跡調査では汚濁が低減していた。

他方、1事例（⑦N池：アオコ）については、アオコ発生から3～4ヶ月経過しているにもかかわらず、クロロフィルaは減少しておらず、水質は改善していなかった。

また、その他の4事例については、概ね水質に変化がないが、異状事象の原因となったと考えられる項目については改善していた。すなわち、魚へい死が発生していた③K池及び④O1池では溶存酸素濃度は増加し、アオコが発生していた⑥U池では各項目とも2～4分の1に低減、⑤O2池ではアオコが消失し珪藻綱が優占、油膜状の汚濁が発生した⑧M2池では油膜状の汚濁が見られなくなっていた。

3-3 溶存酸素の低下

魚のへい死原因は大きく酸素欠乏死、窒息死（水中の溶存酸素濃度は欠乏死に至るほど低くない場合）、有害物質死及び窒息と有害物質の合併死の4つに分類される³⁾。横浜市の報告（昭和51～59年では酸素欠乏死が最も多い²⁾）にもあるように、溶存酸素低下が最も大きな要因と考えられた。水質汚濁が進行した水の溶存酸素低下速度を調べるために、追跡調査で採水した検体（COD 5.9～55 mg/Lの7検体）及び岡山市内尾の用水路水（COD 23 mg/L及び38 mg/Lの2検体）について、102 mLのフラン瓶を用いWincler法¹⁾により、20℃、暗条件化での溶存酸素の低下速度を調べた。

溶存酸素の経時変化、及び溶存酸素の低下速度と各測定項目（COD、BOD、全窒素、全リン、クロロフィルa）との関係を図2に示した。なお、溶存酸素の初期濃度について、いずれの検体についても前処理として20℃で30分間ばっ気しており、6検体では8.8～9.0 mg/Lとしていたが、過飽和であった3検体については初期濃度が9.5～10 mg/Lであった。

今回採水したため池及び用水路の水では、溶存酸素の低下速度は、各項目とも一次回帰の相関があった。クロロフィルaと溶存酸素低下速度の関係については、クロロフィルaは植物プランクトンの増加に伴い値が増えるが、暗条件下では植物プランクトンは、呼吸による溶存酸素低下、またはバクテリアによる分解で溶存酸素の低下を引き起こしたと考えられた。BODと溶存酸素低下速度については、いずれも水の酸素低下をあらわすものであるため、相関があったと考えられた。CODについてもBODと同様の理由で相関があったと考えられた。全窒素及び全リンは、直接には溶存酸素を低下させるものではないが、植物プランクトンの増加を引き起こすことから、間接的に溶存酸素濃度の低下速度に影響を与えていたと考えられた。

これらのことから、今回採水したため池及び用水路の水では、水質の汚濁質と溶存酸素濃度の低下に直線的な相関があったものとみられた。

これらの関係を、上述のD池の事例にあてはめると、表層のCODは70mg/Lであったことから、夜間から明け方（10時間と仮定）の間に溶存酸素濃度が5.6mg/L低下すると推算された。実際は7.7mg/Lから1.3mg/Lまで、6.4mg/L低下していたが、概ね推算値に近く、へい死の原因は溶存酸素低下によるものと推察された。

魚のへい死が発生したため池4事例のうち、2事例（②A池及び④O1池）についてはへい死発生時に溶存酸素濃度を測定している。いずれも日中（10～12時）であるが3.8mg/L及び3.1mg/Lと低かった。この2事例についてはCODがそれぞれ29 mg/L、20 mg/Lであり、上述の水質と溶存酸素低下速度の関係からいずれの池も夜間に溶存酸素が1.4 mg/L程度まで低下すると推算された。一般に、魚類が生理的变化を生じる溶存酸素の臨界濃度レベルは0.3～3.0mg/L、致死臨界濃度レベルは0.2～1.5mg/Lである。またへい死が発

生する濃度はコイで1.0mg/L, ギンフナで0.6mg/L³⁾といわれており, この2事例については, 酸欠によるへい死と推察された。

ここでは水質汚濁と溶存酸素低下の関係を検討した。これら以外の要因として, 魚類等による酸素濃度低下, 躍層による貧酸素水塊の形成, 底層での還元状態下でのアンモニア等の毒性物質の生成などが考えられ, 今後検討していきたい。

4 まとめ

- (1) D池の魚へい死事象では, 明け方に表層から底層までの池全体が酸素欠乏の状態となり, これにより魚のへい死が引き起こされたことがわかった。
- (2) 平成19年7月から9月に魚のへい死が発生した4地点のため池について, 3.1~4.5 mg/Lあった溶存酸素は, 10~11月の追跡調査時には7~11 mg/Lに回復していた。

- (3) 7月に3地点のため池で藍藻ミクロキスティスによるアオコが発生した。このうち1地点では11月にアオコは消失し, 2地点では10月の時点でもアオコが存在していた。
- (4) 追跡調査を実施したため池の水質(COD, BOD, 全窒素, 全リン, クロロフィルa)と溶存酸素の低下速度との間で一次回帰の相関があった。

文 献

- 1) 西澤一俊, 千原光雄編(1979)藻類研究法, 共立出版, 東京, pp.414
- 2) 横浜市公害研究所編, 二宮勝幸, 水尾寛己, 樋口文夫, 魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書, 93-95, 横浜市公害研究所, 横浜市, 1991
- 3) 福井県県民生活部編, 魚類へい死事故対応手引, 21, 福井県県民生活部, 福井県, 1993

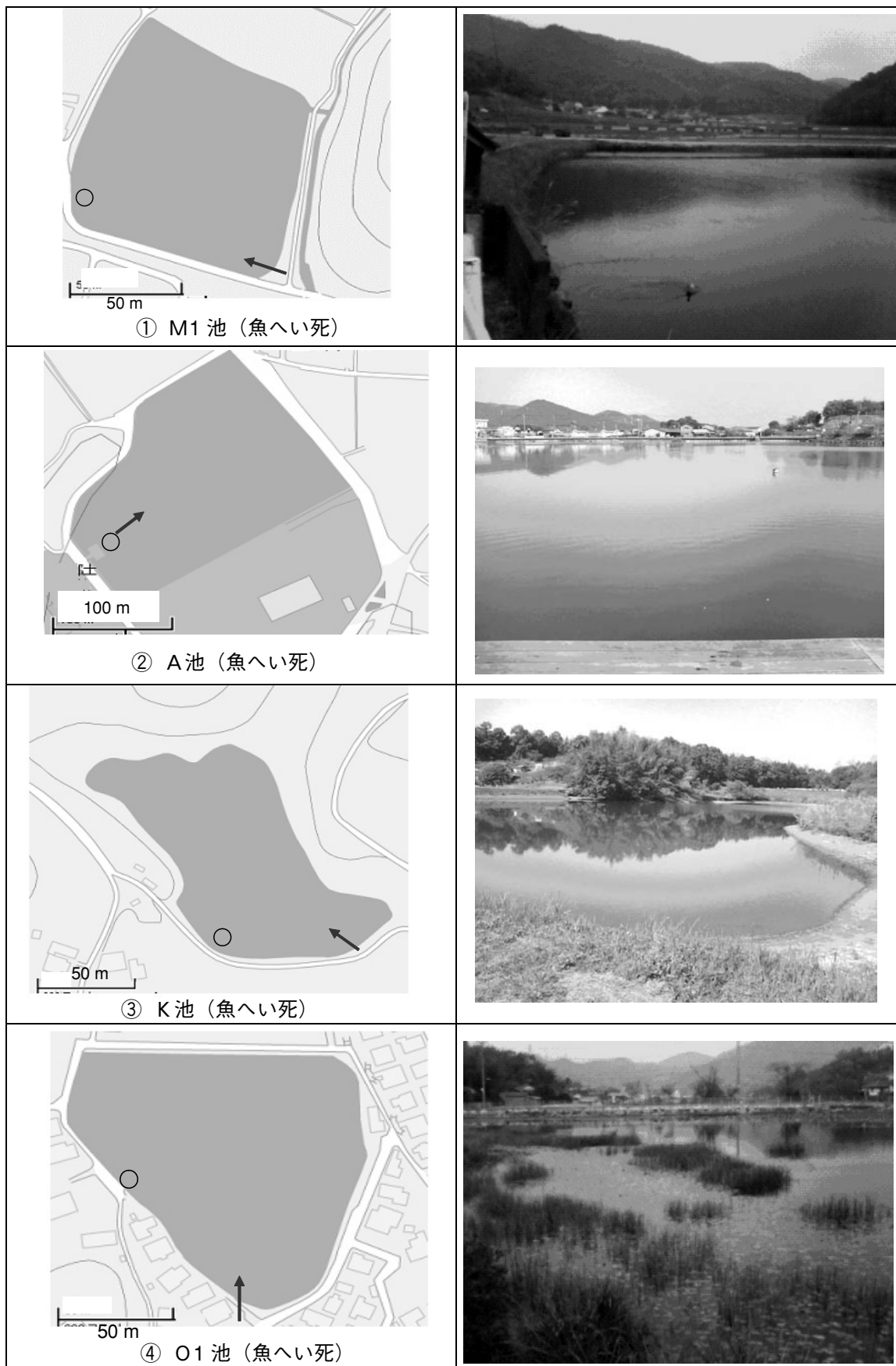
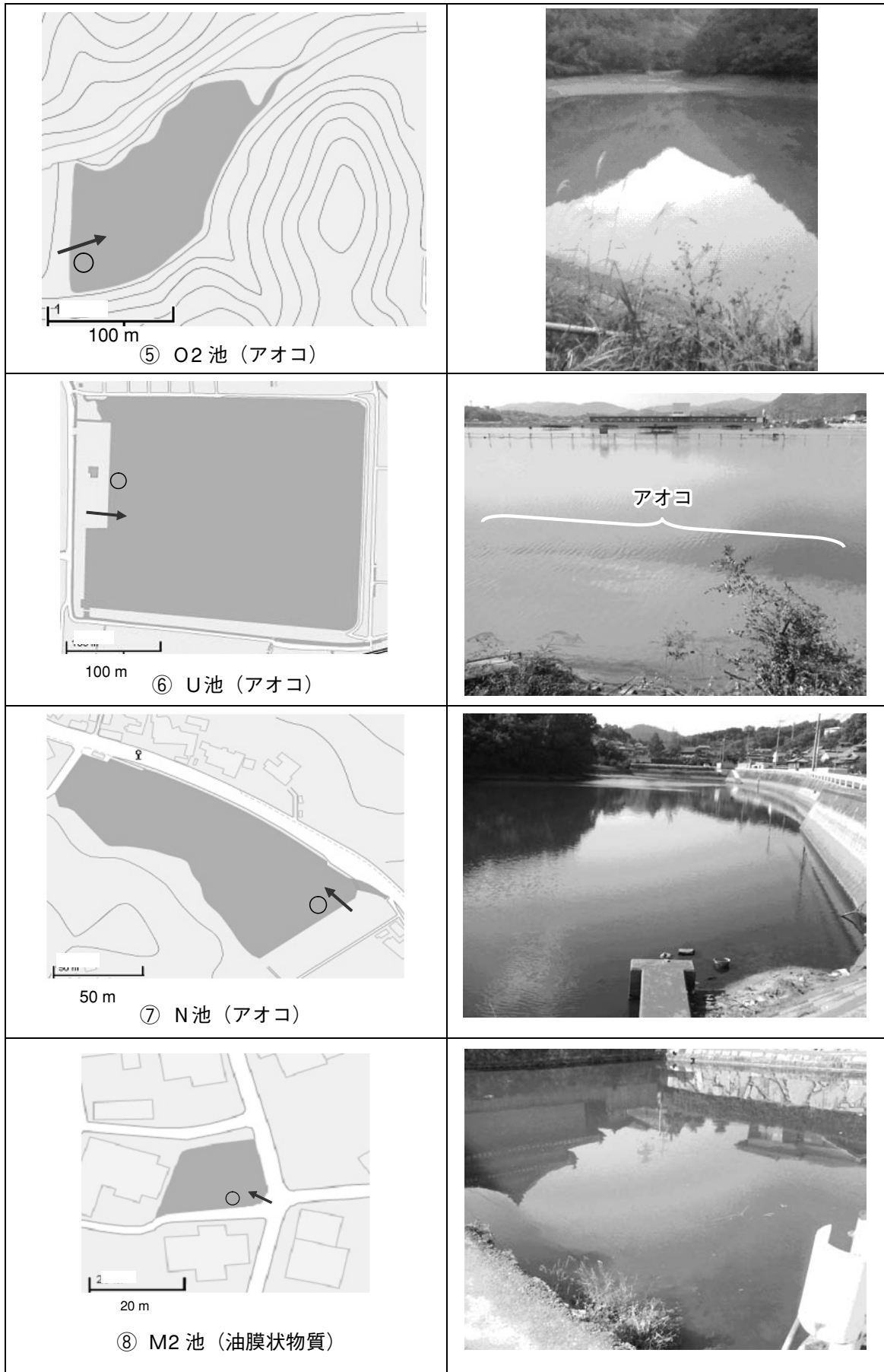


図1 追跡調査を実施した池
 ○：採水地点、↑：写真の撮影方向

(図1 続き)



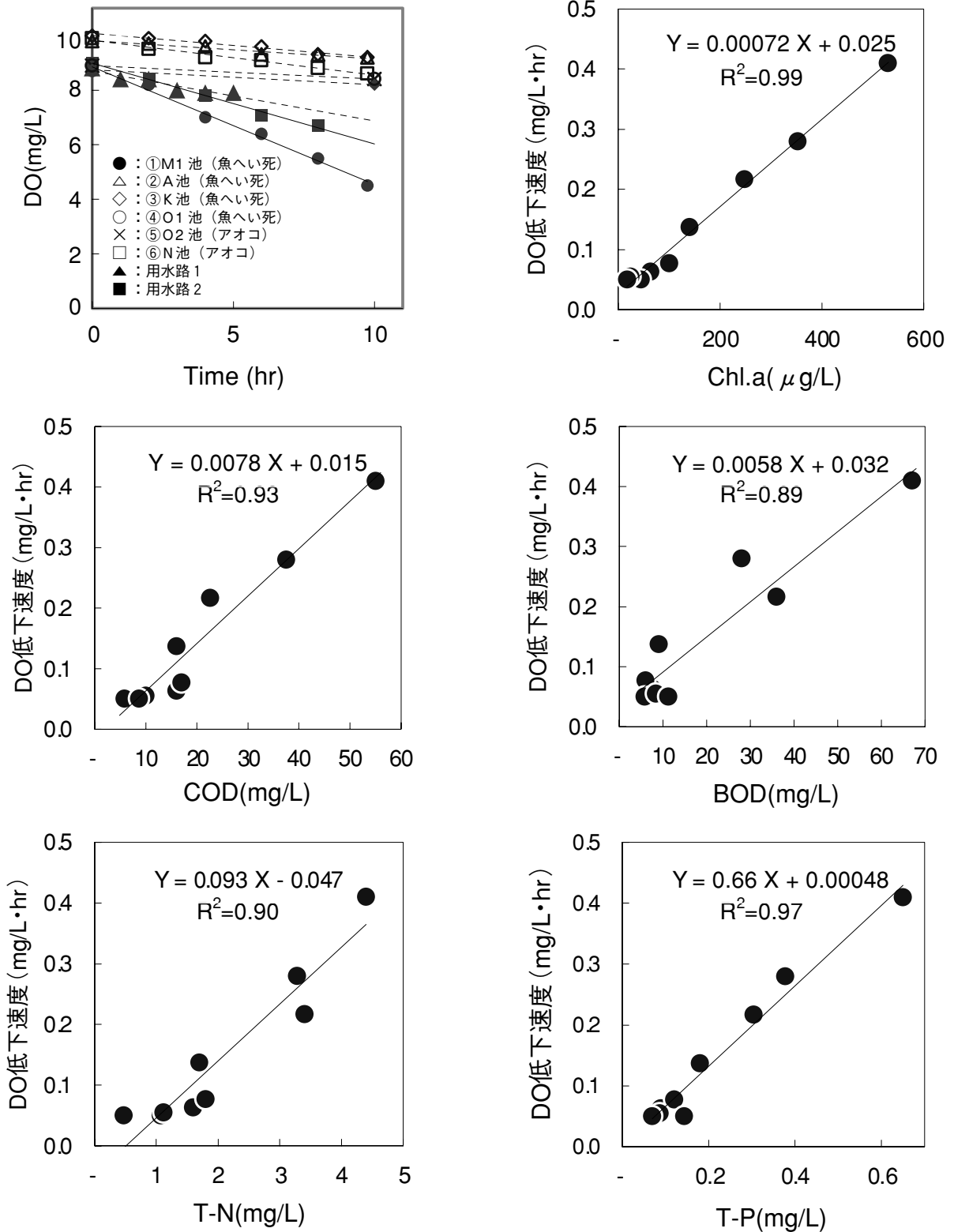


図2 溶存酸素の経時変化及び水質各項目と溶存酸素低下速度の関係

表1 水質測定結果 (水質汚濁事象発生時)

	日付	時刻	気温 (°C)	水温 (°C)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl.a (µg/L)	植物プランクトン優占種	SS (mg/L)	油分 (mg/L)
D池 (魚へい死) (表層)	5/29	10:00	22.0	22.0	9.9	4.5	70	52	-	-	-	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-
〃 (表層)	5/31	11:00	-	-	10.1	7.7	70	-	-	-	-	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-
〃 (表層)	5/31	11:00	-	-	9.4	0.8	110	-	-	-	-	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-
〃 (表層)	6/1	4:35	12.5	19.0	9.7	1.3	67	-	-	-	-	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-
①M1池 (魚へい死)	7/17	17:00	-	23.0	7.1	-	7.7	-	1.5	0.24	-	-	7	-
②A池 (魚へい死)	8/29	10:45	31.0	30.5	8.5	3.8	29	-	4.7	0.13	-	<i>Oscillatoria geminata</i>	-	-
③K池 (魚へい死)	8/30	12:15	30.0	30.0	9.2	4.5	20	-	2.0	0.20	-	<i>Lyngbya contorta</i>	-	-
④O1池 (魚へい死)	9/3	12:50	35.0	29.0	6.4	3.1	20	-	3.2	0.36	-	-	33	-
⑤O2池 (アオコ)	7/5	14:00	29.0	28.0	9.9	-	9.5	-	0.93	0.07	-	<i>Microcystis aeruginosa</i>	2	-
⑥U池 (アオコ)	7/19	10:30	30.5	26.5	6.4	-	2,300	3,200	340	26	26,000	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	22
⑦N池 (アオコ)	7/19	11:30	31.0	27.0	9.0	11	10	4.0	1.5	0.07	73	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	8.0
⑧M2池 (油膜状物質)	6/12	13:30	32.0	31.0	10.4	-	-60	-	6.1	0.91	-	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	91	1.4

表2 水質測定結果 (追跡調査時)

	日付	時刻	気温 (°C)	水温 (°C)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl.a (µg/L)	植物プランクトン優占種	DO変化率 (mg/L・hr)
① M1池 (魚へい死)	11/16	12:30	17.0	12.0	7.3	7.4	10	8.4	1.1	0.09	25	<i>Cyclotella sp.</i>	-0.055
② A池 (魚へい死)	10/23	13:05	24.5	22.0	9.0	11	16	7.5	1.6	0.09	64	<i>Oscillatoria agardhii</i>	-0.063
③ K池 (魚へい死)	10/23	10:35	24.5	20.0	8.7	9.8	17	6.0	1.8	0.12	100	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-0.077
④ O1池 (魚へい死)	11/16	14:20	19.0	12.5	6.8	12	8.7	11	0.5	0.07	18	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	-0.050
⑤ O2池 (アオコ)	11/16	11:40	17.0	8.0	7.6	10	5.9	.8	1.1	0.14	45	<i>Cyclotella sp.</i>	-0.050
⑥ U池 (アオコ)	10/23	11:50	23.8	23.0	7.6	8.3	800	700	100	9.6	12,000	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-1.7
⑦ N池 (アオコ)	10/23	13:25	24.5	21.9	8.7	12	16	9.0	1.7	0.18	140	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-0.13
⑧ M2池 (油膜状物質)	10/23	13:55	24.0	22.8	10.6	28	55	67	4.4	0.65	530	<i>Microcystis aeruginosa</i>	-0.41

表3 植物プランクトン種（追跡調査）

採水場所 (採水日)			① M1池 (魚へい死)	② A池 (魚へい死)	③ K池 (魚へい死)	④ O1池 (魚へい死)	⑤ O2池 (アオコ)	⑥ U池 (アオコ)	⑦ N池 (アオコ)	⑧ M2池 (油膜状物質)
			11月16日	10月23日	10月23日	11月16日	11月16日	10月23日	10月23日	10月23日
<i>Anabaena spiroides</i>	アナバネナスピロイデス	藍藻綱	—	—	—	400	—	70,000	—	—
<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	アナバネナラシバシバ	藍藻綱	—	—	—	1,000	—	—	—	—
<i>Phormidium tenue</i>	フォルミジウムテヌエ	藍藻綱	—	—	—	—	—	—	37,000	—
<i>Oscillatoria agardhii</i>	オシトリアアガールディ	藍藻綱	—	73,000	—	—	—	—	—	—
<i>Microcystis aeruginosa</i>	ミクロシステリスエルクノータ	藍藻綱	—	42,000	14,000	—	—	18,000,000	13,000	68,000
<i>Asterionella formosa</i>	アステリオンエラフォルモサ	珪藻綱	—	—	—	—	400	—	—	—
<i>Cymbella turgidula</i>	キムベラトルギドゥラ	珪藻綱	—	—	—	30	—	—	—	—
<i>Cyclotella sp.</i>	シクロテラ	珪藻綱	1,600	—	—	—	8,400	—	—	—
<i>Navicula sp.</i>	ナビキュラ	珪藻綱	—	—	—	8	400	—	—	—
<i>Nitzschia sp.</i>	ニツチア	珪藻綱	—	—	—	60	—	—	1,200	21,000
<i>Nitzschia acicularis</i>	ニツチアアキウリス	珪藻綱	400	—	—	—	400	—	—	—
<i>Melosira italica</i>	メロシライタリカ	珪藻綱	—	—	—	—	1,200	—	—	—
<i>Melosira varians</i>	メロシラバリアンス	珪藻綱	—	—	—	730	800	—	—	—
<i>Ankistrodismus falcatus</i>	アキストロドゥスムスファルクアス	緑藻綱	200	—	800	—	400	—	—	—
<i>Chlamydomonas sp.</i>	クラミドモナス	緑藻綱	—	—	—	—	—	—	—	12,000
<i>Crucigenia sp.</i>	クラジゲン	緑藻綱	200	—	—	—	—	—	—	—
<i>Coelastrum sp.</i>	コエラストラム	緑藻綱	—	—	—	—	—	—	—	6,400
<i>Golenkinia paucispina</i>	ゴレンキンニアパウスピナ	緑藻綱	—	—	—	60	—	—	—	—
<i>Sphaerocystis sp.</i>	スファエロシステリス	緑藻綱	—	—	3,200	—	—	—	—	—
<i>Scenedesmus ecomis</i>	セネデスマスエコムニス	緑藻綱	—	—	3,200	—	—	—	—	—
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	セネデスマスクワドリックアウダ	緑藻綱	—	—	5,600	—	—	—	2,400	11,000
<i>Pediastrum simplex</i>	ペディアストラムシンプルクプレククス	緑藻綱	—	—	—	1,000	—	—	—	—
<i>Trachelomonas sp.</i>	トラケロモナス	ミドリムシ綱	—	—	—	30	—	—	2,000	—
<i>Euglena sp.</i>	ユウグレン	ミドリムシ綱	—	—	—	—	400	—	—	—
<i>Cryptomonas sp.</i>	クリプトモナス	褐色鞭毛藻綱	1,200	—	—	—	800	—	5,200	5,600

単位：(細胞数/mL)

表4 追跡調査結果の概要

<p>①M1池 (魚へい死)</p>	<p>苦情発生時には溶存酸素は測定していない。今回の測定では溶存酸素が7.4で特に低い値ではなかった。その他の項目(全窒素, 全リン等)について、特に著しい変化はなかった。 追跡調査(11月)では珪藻綱 <i>Cyclotella</i> sp. が優占。</p>
<p>②A池 (魚へい死)</p>	<p>苦情発生時には溶存酸素が3.8と低かった。今回の測定では11で過飽和状態であった。COD, 全窒素および全リンは3~7割程度減少した。 藍藻綱 <i>Oscillatoria</i> sp. が優占。</p>
<p>③K池 (魚へい死)</p>	<p>苦情発生時には溶存酸素が4.5と低かった。今回の測定では9.8で過飽和状態であった。その他の項目では、全リンが4割程度減少した他は、ほとんど変化していなかった。 藍藻綱 <i>Microcystis aeruginosa</i> が優占。</p>
<p>④O1池 (魚へい死)</p>	<p>苦情発生時には溶存酸素が3.1と低かったが、今回の測定では12で過飽和であった。その他の項目では、PHはほとんど変化していなかった(6.4→6.8)が、COD, 全窒素および全リンの値が減少していた(COD:20→8.7, 全窒素:3.2→0.47, 全リン:0.36→0.069)。 藍藻綱 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> が優占。</p>
<p>⑤O2池 (アオコ)</p>	<p>今回の測定では溶存酸素が10で過飽和であった。 苦情発生時には藍藻綱 <i>Microcystis aeruginosa</i> が優占していたが、追跡調査(11月)ではアオコは消失し珪藻綱 <i>Cyclotella</i> sp.が優占。</p>
<p>⑥U池 (アオコ)</p>	<p>各項目(COD, BOD, 全窒素, 全リン, クロロフィルa)が5~8割減少していたが、これはアオコの減少によるものである。ただしアオコは池表面に均一に分布しておらず、前回および今回とも、池西側に偏在していたことが観察されており(写真1)、池全体の評価ではなく採水地点(池西側)での測定値であることに留意する必要がある。 藍藻綱 <i>Microcystis aeruginosa</i> が優占。</p>
<p>⑦N池 (アオコ)</p>	<p>COD, BOD, 全リンおよびクロロフィルaが1.5~2.5倍に増加していた。 藍藻綱 <i>Microcystis aeruginosa</i> が優占。</p>
<p>⑧M2池 (油膜状汚濁)</p>	<p>油膜状の汚濁物質は追跡調査時には消失していた。 苦情発生時(10月)には緑藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)が優占していた。 追跡調査(11月)では藍藻綱 <i>Oscillatoria</i> sp. が優占。</p>