

# 底層溶存酸素量と生物種の関連性の調査

## (第2報)

### Investigation of relevance between bottom layer dissolved oxygen concentration and species (2nd report)

佐藤 優\*1 加川 綾乃 福地 信一 郷右近 順子 赤崎 千香子 松本 啓  
 Yu SATOH, Ayano KAGAWA, Shinichi FUKUCHI, Junko GOUKON, Chikako AKASAKI,  
 Satoshi MATSUMOTO

平成28年3月に底層溶存酸素量の環境基準が設定され、生息魚種にとって快適な生存環境の保全を目的として、各都道府県は水域の特性に合わせた類型あてはめを行うこととなった。湖沼の類型あてはめを見込んだテストケースとして、平成28年度に宮城県最大の自然湖沼である長沼について調査、報告を行った<sup>1)</sup>。

平成29年度は上水道の水源である人工湖の漆沢ダムを対象として調査を行った。保全対象種の絞り込みのため生息魚種をアンケート調査にて確認したところ、漆沢ダムにはこれまで11種の魚種が生息していた。このうち、貧酸素耐性評価値が既知の魚種は3種にとどまっていた。春季、夏季、秋季に多項目水質計を用いた湖沼内の底層溶存酸素量の分布調査を実施し、夏季には一定水深以上で広域に貧酸素となることを確認した。

キーワード：底層溶存酸素量；環境基準；湖沼；生息魚種

Key words : bottom DO concentration ; environmental criteria ; Lakes ; Inhabiting fish species,

## 1 はじめに

公共用水域の水質の保全に係る生活環境の保全に関する環境基準については、水域毎にCODや全窒素・全燐などの水質目標値が設定されている。平成28年3月には、水生生物の生息への影響等を直接判断でき、国民が直感的に理解しやすい指標<sup>2)</sup>として、海域及び湖沼における「底層溶存酸素量(底層DO)」が新たに追加された<sup>3)</sup>。

これを受け、将来的に県が類型指定を行う際の予備的先行調査として、平成28年度から保全対象種の絞り込みのための関係機関へのアンケートによる生息魚種調査と、多項目水質計を活用した水質現況値の把握を行っている。平成28年度の長沼調査に引き続き、平成29年度には人工湖である漆沢ダムの調査を行ったので報告する。

## 2 調査概要

宮城県内の湖沼のうち、既にCOD等の生活環境項目の類型指定がなされている12湖沼のうち、代表的な人工湖である漆沢ダムを選定し、調査を行った。

漆沢ダムは鳴瀬川上流部に昭和56年に設置されたダムであり、水深は最深部で40m程度、上水道、水力発電、農業用水の水源である。

夏季を中心に水道異臭味や湖内でのアオコの発生が見られることがある。

### 2.1 生息魚種調査

平成18年に宮城県内水面水産試験場がとりまとめた

資料<sup>4)</sup>を参考に独自の調査票を作成し、漆沢ダムを所管する関係部局、自治体、有識者へアンケート調査を実施した。アンケートでは、魚種の生息の有無及び確認数、最後に確認した時期を設問とした。

併せて、環境省の資料<sup>5)</sup>より魚種別の貧酸素耐性値についてとりまとめを行った。

### 2.2 現地水質調査

#### 2.2.1 調査時期

貧酸素の原因となる水温躍層の形成前の春季(5月)、躍層が形成されやすい夏季(8月)、躍層が解消される秋季(11月)<sup>6)</sup>に実施した。

#### 2.1.2 調査地点

ダム湖を150mメッシュで区切り、上流部、中央部、下流部(環境基準点)を基点として測定地点を選定した(22地点)。(図1)

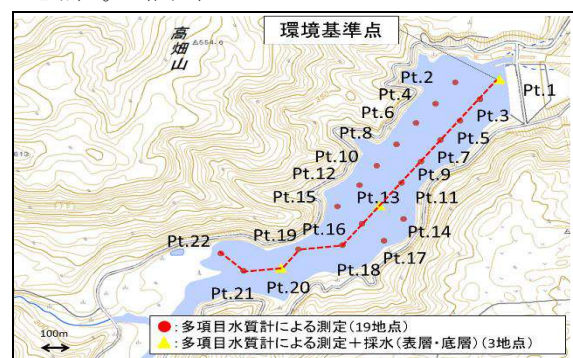


図1 漆沢ダム調査地点

\*1 現 土木部下水道課

### 2.1.3 調査方法

各調査地点で船上より多項目水質計を吊り下げて、水質（DO、pH、クロロフィル-a、EC、ORP、水深、濁度、水温）の鉛直分布を測定した。多項目水質計は、「HydroLAB Datasonde 5」を用い、各地点での測定結果については、平面・断面図解析ソフトウェア「HydroGraph2（環境システム株式会社）」を用い、湖沼の季節毎の水温、DO(mg/L)、DO(飽和度：%)、クロロフィル-a(μg/L)について底層の分布及び湖沼内を図1の点線にて断面化した解析図を作成した。

なお、上流部、中流部、下流部で上層と下層の採水を実施し、各種水質分析（各態窒素、リン酸態リン、全窒素、全リン、全鉄、全マンガン、COD、SS）を行った。

## 3 結果及び考察

### 3.1 生息魚種アンケート結果

アンケートを集計したところ、漆沢ダムではダム建設前から現在までに11種類の魚種が生息していたが、現在生息が確認できるのは9種となっていた。（表1）

表1 漆沢ダムに生息した魚種一覧

魚種名	最終確認時期	確認数	生息由来		
			在来魚	移植魚	外来魚
ウナギ	10年以前	単体	●		
ワカサギ	1年以内	群体	●		
アメマス(エゾイワナ)	1年以内	単体	●		
ヤマメ	1年以内	単体	●		
ウグイ	1年以内	群体	●		
アブラハヤ	1年以内	単体	●		
タモロコ	1年以内	群体		●	
コイ	1年以内	群体	●		
ギンブナ	1年以内	群体	●		
キンブナ	10年以前	複数	●		
カジカ	1年以内	単体	●		

※ウナギの確認はダム建設前

漆沢ダムでは、長沼（過去40種が生息）に比べて生息種数は少なかったが、10種が姿を消した長沼に比べ、生息確認魚種数に大きな変動は見られなかった。（表2）

表2 漆沢ダムに生息した魚種の内訳

確認魚種内訳	確認数				生息由来				
	群れを確認	複数匹を確認	単体で確認	不明	在来魚	移植魚	外来魚		
最終確認時期	1年以内	9	5	0	4	0	8	1	0
	5年以前	0	0	0	0	0	0	0	0
	10年以前	2	0	1	1	0	2	0	0
生息確認魚種数		11	5	1	5	0	10	1	0

これは、長沼のように外来魚の捕食による影響がないこと、水位調節や放水により、水質の悪化が起こりにくいこと、ダム化されたのが30年以上前であり、生息環境が安定し、適応した種のみが生息しているためと考えられた。

### 3.2 生息魚種と貧酸素耐性評価値

環境省の資料に示されている貧酸素耐性評価値と、各湖沼の生息魚種を取りまとめたところ、漆沢ダムでは11種の確認魚種のうち3種の貧酸素耐性評価値を確認できた。（表3）

表3 判明している貧酸素耐性評価値と生息魚種

貧酸素耐性評価値(mg/L)	相当類型	基準値(mg/L)	生息状況				
			確認数	確認時期	確認数	確認時期	
タモロコ	3	生物2	3	群体	1年以内	群体	1年以内
カマツカ	2.3	生物3	2	複数	1年以内	-	-
コイ	2.1	生物3	2	群体	1年以内	群体	1年以内
ウナギ	1.6	該当なし	-	複数	1年以内	単体	10年以前
ヤリタナゴ	1.4	該当なし	-	-	-	-	-
ホンモロコ	1.3	該当なし	-	-	-	-	-
モツゴ	1.2	該当なし	-	群体	1年以内	-	-
ドジョウ	1.2	該当なし	-	群体	1年以内	-	-

貧酸素耐性評価値が判明している魚種のうち、ヤリタナゴ、ホンモロコは長沼・漆沢ダムともに確認できなかった。

この結果より、類型指定のための保全対象種の選定には、貧酸素耐性評価値がわからない残る生息魚種についての知見収集が不可欠であることが明白となった。

### 3.3 現地水質調査

#### 3.3.1 漆沢ダム水質測定結果

(1) 春季（5月）

湖内全域で底層DOの低下は確認されなかった。（図2）

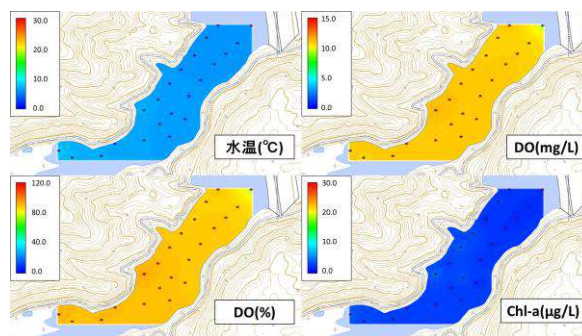


図2 漆沢ダム春季底層濃度分布

断面解析の結果、既に水深2m付近で水温躍層が形成されつつあった。貧酸素化は見られず、表層付近でDOの過飽和が確認された。（図3）

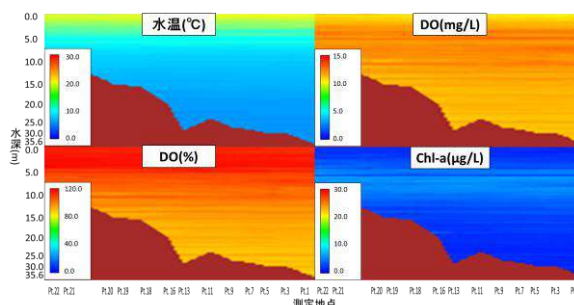


図3 漆沢ダム春季断面濃度分布

(2) 夏季（8月）

水深が深くなるダムの下流部で水温及びDOの低下(1.7~4.1mg/L)が見られたが、上・中流部ではDOの顕著な濃度低下は見られなかった。（図4）

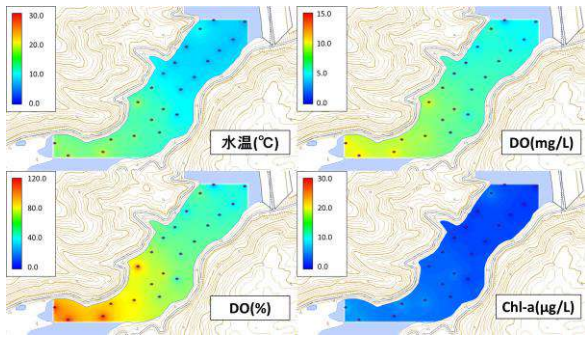


図 4 漆沢ダム夏季底層濃度分布

水温躍層が水深 5m 付近, 15m 付近で 3 層に形成されており, 16m 以深で DO 低下が起こることを確認した。DO 飽和度は表層では過飽和となっていたが, 水深の増大に伴い躍層状に低下していた。(図 5)

上・中流部は比較的水深が浅く, 流入する水流の影響もあったため, 底層 DO の低下が見られなかったようである。

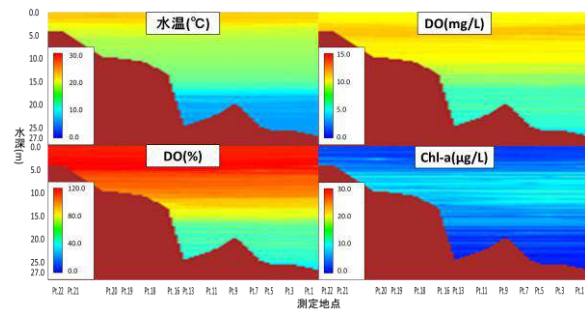


図 5 漆沢ダム夏季断面濃度分布

(3) 秋季(11月)

全域で夏季よりも DO 低下は改善されていたが, 下流部の水深が大きい地点では DO が夏季よりも低い値(2.1~2.4mg/L)を示していた。(図 6)

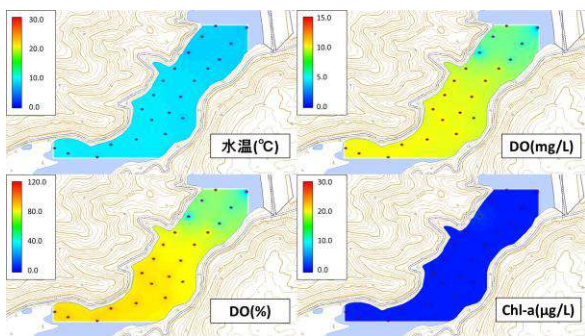


図 6 漆沢ダム秋季底層濃度分布

夏季に形成されていた水温躍層は秋季調査時には解消されており, 下層まではほぼ均一となっていた。(図 7)

また, 深度による DO の躍層状の低下も改善していたが, 最深部水深 30m 付近は貧酸素となっていた。

水温躍層解消の原因は, 気温の低下に伴うもののほか, 秋季調査直前の台風接近に伴い, ダム操作による水位調節や流入水の増加, 暴風による湖内攪拌などが起こったため, 最深部付近が貧酸素状態となっていたのは, 水深が大きいため十分な攪拌作用を得られなかったためと思われる。

例年, 秋季には台風の接近があるため, 今回の調査結果はダム湖としては特別な状況ではなく, 例年同様の水質であると考えられた。

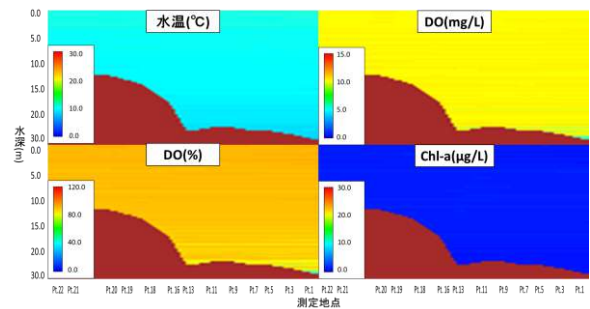


図 7 漆沢ダム秋季断面濃度分布

3.3.2 水質分析

採水を行った全地点で春季, 夏季, 秋季ともに上層の COD が 1.3~3.4mg/L と環境基準(1mg/L)を超えていた。

また, SS の値も 1~6mg/L と環境基準 (1mg/L) を上回っていた。なお, 全季節で全鉄, 全マンガンが表層よりも底層で高い傾向が見られたが, 他の項目については地点間, 季節間で顕著な差は見られなかった。(表 4)

3.3.3 長沼調査との比較

平成 28 年度の長沼調査と本調査の結果より, 両湖沼で夏季の下流部にて底層 DO の低下を確認した。

長沼における貧酸素化は, 周囲をハスに囲まれた地点で特異的に発生しており, 浅い水深及び, 流量も少ないため水質に表層・底層で大きな差はなかった。

一方の漆沢ダムでは春季から水温躍層が形成され, 夏季には躍層の最下層で広範囲に DO の顕著な低下が起こっていた。

これら 2 湖沼の調査結果より, 水深が浅い湖沼では水温躍層が形成されにくく, 植生や周囲の影響を平面的に受けやすい地点で貧酸素化が起こると考えられた。

また, 河川上流にあり水深が深いダム湖においては, 植生やプランクトンの影響は少なく, 貧酸素化は水温躍層による混合阻害に起因するもので, 湖内の一定水深以上の範囲が貧酸素化を起こすと考えられるなど, 貧酸素化のメカニズムが湖沼毎に異なることが示唆された。

表 4 漆沢ダム水質調査結果

地点名	上流(Pt.20)						中流(Pt.13)						下流(Pt.1)					
	表層			底層			表層			底層			表層			底層		
採水時期	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季
採取水深	0.0	0.0	0.0	12.0	1.0	9.0	0.0	0.0	0.0	17.0	11.0	15.9	0.0	0.0	0.0	33.0	21.0	28.9
全水深(m)	13.5	2.0	10.0	13.5	2.0	10.0	20.0	12.0	16.9	20.0	12.0	16.9	35.0	22.0	29.9	35.0	22.0	29.9
pH	7.6	8.4	7.2	7.4	7.7	7.1	7.5	8.5	7.2	7.3	7.3	7.2	7.3	8.6	7.1	7.1	7.1	6.8
COD(mg/L)	1.8	3.1	2.9	1.5	3.4	2.4	2.1	3.0	2.8	1.4	2.5	2.4	1.9	3.2	2.7	1.3	1.6	2.4
ろ液COD(mg/L)	1.3	2.5	2.5	1.3	2.7	2.3	1.6	2.6	2.5	1.2	2.2	2.4	1.4	2.5	2.3	1.2	1.4	2.1
SS(mg/L)	1	2	6	1	3	4	<1	1	6	1	3	4	1	2	5	2	1	6
T-N(mg/L)	0.08	0.15	0.17	0.16	0.18	0.14	0.09	0.12	0.17	0.19	0.19	0.13	0.07	0.14	0.18	0.38	0.21	0.19
ろ液T-N(mg/L)	0.04	0.09	0.16	0.15	0.10	0.12	0.06	0.07	0.13	0.16	0.13	0.13	0.04	0.09	0.17	0.17	0.20	0.15
T-P(mg/L)	0.012	0.020	0.037	0.015	0.027	0.030	0.088	0.016	0.035	0.020	0.029	0.031	0.008	0.018	0.035	0.024	0.014	0.026
ろ液T-P(mg/L)	0.005	0.008	0.022	0.011	0.010	0.022	0.001	0.006	0.022	0.014	0.016	0.020	0.006	0.008	0.021	0.017	0.010	0.013
NH4-N(mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N(mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
NO3-N(mg/L)	<0.01	<0.01	0.11	0.11	0.01	0.10	<0.01	<0.01	0.10	0.13	0.07	0.09	<0.01	<0.01	0.12	0.13	0.14	0.05
PO4-P(mg/L)	<0.003	<0.003	0.020	0.009	0.004	0.021	<0.003	<0.003	0.019	0.014	0.015	0.019	<0.003	<0.003	0.020	0.017	0.008	0.004
電気伝導度(mS/m)	4.55	5.19	4.61	4.09	5.17	4.93	4.47	5.13	4.60	4.07	5.27	5.00	4.42	5.67	4.53	4.23	4.65	6.07
全鉄(mg/L)	0.03	0.07	0.79	0.14	0.23	0.52	0.02	0.06	0.77	0.20	0.18	0.44	0.03	0.08	0.75	0.30	0.16	0.52
全マンガン(mg/L)	0.004	0.006	0.020	0.020	0.040	0.014	0.003	0.005	0.020	0.014	0.023	0.017	0.003	0.006	0.019	0.045	0.035	0.660

#### 4 まとめ

1) 底層 DO の新規環境基準化に係る類型あてはめに向け、その予備的調査として漆沢ダムに着目した生息魚種アンケート調査及び現地調査を行った。

生息魚種のアンケート調査より、漆沢ダムには、ダム建設前を含め過去には 11 種の魚種が生息していたが、現在の生息種数は 9 種となっており、既知の貧酸素耐性評価値が低い魚の生息が確認できないことがわかった。

2) 現地調査の結果、夏季に水温躍層の最下層となる下流部の一定水深に深にて広範囲に底層 DO の低下が起きていることを確認した。

漆沢ダムにおける夏季の貧酸素化は、表層・底層、地点間、季節間で水質に大きな差はなかったことから水中の溶存栄養塩などの濃度変化によるものではなく、躍層形成と水深が大きな発生要因となると考えられた。

3) アンケート調査及び現地調査の結果から、夏季に底層が広範囲で貧酸素化するダム湖においては、貧酸素耐性の高い魚種であっても、生息が困難であることが示唆された。

4) 今回の調査により、類型あてはめのための課題が明らかになった。1つ目は保全対象種の選定であり、現時点では生息魚種のうちごく一部の貧酸素耐性値しか把握できておらず、水域の保全対象種を選定するためには魚種別の耐性値について他機関とも協働したさらなる知見収集が必要であることである。

2つ目は環境基準点の設定であり、それには生息魚種の水域内分布の知見と生息魚種の再生期(繁殖期)の生育状況の知見が必要であるが、ともに現時点では知見が不足しているといえる。

5) 本調査によって得られた湖沼別の DO の平面、垂直分布や生息魚種の情報は、今後類型指定を行う際の基礎資料の一端として活用が見込める。しかしながら、現状で知見が不足している生息魚種の湖沼内生息域や、再生期の分布状況などを把握するためには、さらなる調査が

不可欠である。生息魚種についての知見収集を効率的に進めるためには、既存の捕獲調査等ではなく、採水調査と並行した環境 DNA を用いた分析<sup>7)</sup>など、新たな技術や知見に基づく調査を行うことで、短期かつ水質データと連動した効率的なデータ収集を行うことができると考えられる。

6) 今後、継続した他湖沼における基礎水質データの収集や、他機関と知見の共有を進めていくことで貧酸素化が起りやすい水域の把握や、生息魚種に対応した類型の設定などに繋げることができ、適正な水域環境の保全のために役立つことと期待される。

#### 参考文献

- 1) 佐藤優, 福地信一, 郷右近順子, 佐藤重人: 宮城県保健環境センター年報, 第 35 号 58-61(2017)
- 2) 環境省: 水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて
- 3) 環境省: 水質汚濁に係る環境基準 についての一部を改正する告示(平成 28 年環境省告示第 37 号)
- 4) 宮城県内水面水産試験場: みやぎの淡水魚(2004)
- 5) 環境省: 底層溶存酸素量の目標設定の検討について(案)
- 6) 丸茂恵右, 横田瑞郎: 海生研研報, 第 15 号 1-21(2012)
- 7) 高原 輝彦, 山中 裕樹, 源 利文, 土居 秀幸, 内井 喜美子: 日本生態学会誌 66: 583-599 (2016)
- 8) 安野 翔, 嶋田哲郎, 芦澤 淳, 星 雅俊, 藤本泰文, 菊地永祐: 伊豆沼・内沼研究報告 9 号, 13-22 (2015)

#### 地図データについて

本文中の地図データについては、国土地理院電子国土基本図を加工して使用した。

地理院地図 <http://maps.gsi.go.jp/>