

＜報 文＞

底層溶存酸素量と生物種の関連性の調査*

－湖沼への類型指定に向けて－

佐藤 優**・加川 綾乃**・福地 信一**・郷右近 順子**・松本 啓**・佐藤 重人**

キーワード ①底層溶存酸素量 ②環境基準 ③内陸湖沼 ④生息魚種

要 旨

平成28年3月に底層溶存酸素量の環境基準が設定され、各自治体は生息魚種等にとって快適な生存環境の保全を目的として、水域の特性に合わせた類型あてはめを行う必要がある。そのため、湖沼の類型あてはめを見込んだテストケースとして、宮城県最大の自然湖沼である長沼及び広域水道の水源である人工湖の漆沢ダムを対象とした調査を行った。保全対象種の絞り込みのため、各湖沼の生息魚種をアンケート調査にて確認したところ、長沼にはこれまで40種の、漆沢ダムには11種の魚種が生息していた事がわかった。このうち、貧酸素耐性値が既知の魚種は6種にとどまっていた。また、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、夏季には長沼においては地点特異的に、漆沢ダムでは一定水深以上で貧酸素となることを確認した。魚種別の貧酸素耐性値や湖沼内の魚種生息域などについての情報が不足していることから、類型あてはめまでにはさらなる知見収集が必要である。

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・全リンなどの水質目標値を設定し、各種施策を行ってきた。加えて、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¹⁾として、底層を利用する生物の健全な生息のための新たな基準となる海域及び湖沼における「底層溶存酸素量(底層DO)」が追加された²⁾。

これをうけ当所では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、自然湖沼である長沼と人工湖である漆沢ダムについて、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た。

2. 調査概要

＜調査対象湖沼について＞

○長沼（平成28年～平成29年調査）

宮城県最大の湖沼であるが、水深は1～3mと浅く、流入水量も少ないため恒常的に高COD値を呈している。

近年ではハスの繁茂域が拡大し、最盛期には沼内の3分の2を占める。

○漆沢ダム（平成29年調査）

鳴瀬川上流部に昭和56年に設置されたダムである。

水深は最深部で40m程度、大崎広域水道（10市町村へ上水供給）の原水となっている。

過去に水道異臭味や湖内でのアオコの発生があった。

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³⁾を参考に独自の調査票を作成し、現在から10年程度前までの魚類生息状況について各湖沼を所管する関係部局、自治体、漁協、有識者へのアンケート調査を実施した。

併せて、環境省の資料⁴⁾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 調査日程

各湖沼において、水温躍層の形成前である春季、水温躍層が形成され貧酸素となりやすい夏季、躍層が解消される秋季⁵⁾の3回調査を実施し、季節間の水質変動を確認した。（表1）

表1 調査日程

湖沼名	春季調査	夏季調査	秋季調査
長沼	H29. 4. 25	H28. 7. 28	H28. 10. 17
漆沢ダム	H29. 5. 31	H29. 8. 29	H29. 11. 1

*Investigation of Relevance between Bottom Layer Dissolved Oxygen Concentration and Species

**Yu SATOH, Ayano KAGAWA, Shinichi FUKUCHI, Junko GOUKON, Satoshi MATSUMOTO, Shigeto SATOH（宮城県保健環境センター）

2.2.2 調査地点

各湖沼を150-200m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（長沼：21地点、漆沢ダム：22地点）。（図1、図2）

地点選定にあたっては、通年的な調査に支障が出ないよう、調査船が進入できないハスの植生域や、ダムの水位調節により陸地化する地点などは調査対象から除いた。

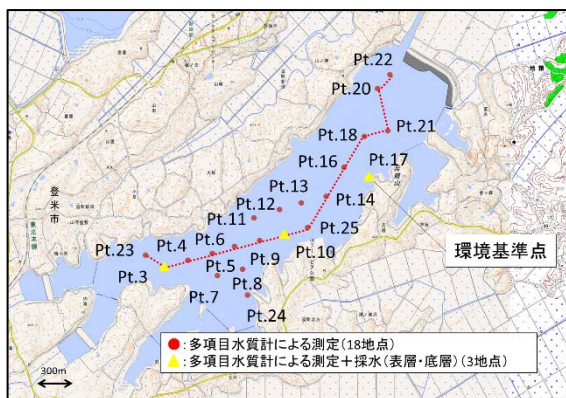


図1 長沼調査地点

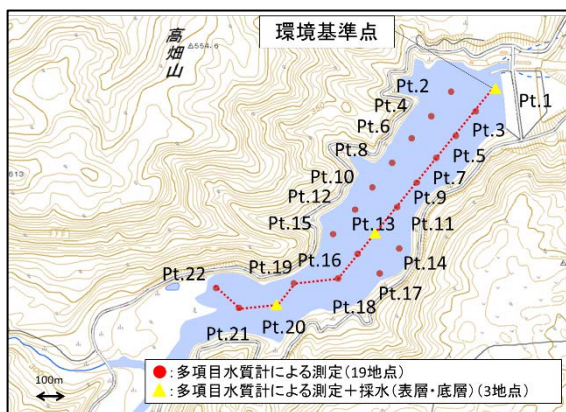


図2 漆沢ダム調査地点

2.2.3 調査方法

船上より各調査地点で多項目水質計「HydroLAB Datasonde 5」をつり下げ、水質（DO、pH、Chl-a、EC、ORP、水深、水温）の鉛直分布調査を行った。

併せて、各湖沼の上流部、中流部、下流部では採水（表層・底層）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。

なお、貧酸素状態の判定は、新規設定された基準の類型生物1相当のDO値4.0mg/L未満²⁾とした。

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、長沼では現在までに40種の魚種が生息していたことがわかった。（表2）

しかしながら、うち10種は最後に確認されたのが5年前であり、現在の長沼にて生息が確認できるのは30種となっていた。（表3）

表2 長沼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	1年以内	複数	●		
ワカサギ	1年以内	群体	●		
シロウオ	1年以内	群体	●		
オイカワ	1年以内	複数		●	
ハス	1年以内	不明		●	
ウグイ	1年以内	不明	●		
アブラハヤ	1年以内	群体	●		
ハクレン	1年以内	単体			●
タモロコ	1年以内	群体		●	
モンゴ	1年以内	群体		●	
シナイモツゴ	10年以前	群体	●		
ビワヒガイ	1年以内	複数		●	
カマツカ	1年以内	複数	●		
ゼゼラ	10年以前	不明		●	
ニゴイ	1年以内	複数	●		
コイ	1年以内	群体	●		
ギンブナ	1年以内	群体	●		
キンブナ	1年以内	群体	●		
ゲンゴロウブナ	1年以内	群体		●	
タイリクバラタナゴ	1年以内	群体			●
ゼニタナゴ	5年以前	群体	●		
タナゴ	1年以内	複数	●		
アカヒレタビラ	10年以前	群体	●		
ドジョウ	1年以内	群体	●		
カラドジョウ	1年以内	群体			●
シマドジョウ	1年以内	複数	●		
ナマズ	1年以内	複数	●		
メダカ	5年以前	群体	●		
カムルチー	1年以内	群体			●
オオクチバス	1年以内	群体			●
コクチバス	1年以内	不明			●
ブルーギル	1年以内	群体			●
ウキゴリ	5年以前	複数	●		
ジュスカケハゼ	10年以前	複数	●		
エドハゼ	1年以内	不明	●		
ヌマチチフ	5年以前	複数	●		
トウヨシノボリ	5年以前	不明	●		
マハゼ	10年以前	複数	●		
シロウオ	1年以内	不明	●		
カジカ	1年以内	複数	●		

表3 長沼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
確認時期	1年以内	30	15	9	1	5	17	6
	5年以前	5	2	2	0	1	5	0
	10年以前	5	2	2	0	2	4	1
生息確認魚種数		40	19	13	1	8	26	7

この生息魚種の減少は、ダム化に伴う水質の変化や、ブラックバス、ブルーギルなどの外来魚による捕食などの影響、ハスの繁茂域拡大による水質の変化などが考えられた。

一方の漆沢ダムでは、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4）

表4 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、長沼に比べて生息種数は少なかったが、生息魚種数に大きな変動は見られなかった。(表5)

表5 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	
確認時期	1年以内	9	5	0	4	0	8	1	0
	5年以内	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や、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値

環境省の資料にて示されている貧酸素耐性値と、各湖沼の生息魚種を取りまとめたところ、長沼における40種の確認魚種のうち6種で、漆沢ダムでは11種の確認魚種のうち3種の耐性値を確認できた。(表6)

長沼では、生息に3.0mg/L以上のDOが必要であるタモロコのほか、1.2mg/Lの貧酸素下でも生息できるモツゴやドジョウといった、貧酸素耐性が高い魚、低い魚をともに確認できた。

一方で、現在の漆沢ダムでは既知の貧酸素耐性が高い魚種は確認されていなかった。

なお、貧酸素耐性値が判明している魚のうち、ヤリタナゴ、ホンモロコはともに調査を行った2湖沼では確認できなかった。

この結果より、類型指定のための保全対象種の選定には、耐性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。

表6 判明している貧酸素耐性値と生息魚種

貧酸素耐性評価値(mg/L)	相当類型	基準値(mg/L)	生息状況			
			長沼		漆沢ダム	
			確認数	確認時期	確認数	確認時期
タモロコ	3.0 生物2	3.0	群体	1年以内	群体	1年以内
カマツカ	2.3 生物3	2.0	複数	1年以内	-	-
コイ	2.1 生物3	2.0	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	-	-

3.3 現地水質調査

各地点の測定値の解析には平面・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、各湖沼の季節毎の水温、DO(mg/L)、DO(飽和度:%)、Chl-a(μ g/L)について底層の分布及び湖沼内を図1、図2の赤線にて断面化した解析図を作成した。

3.3.1 長沼水質測定結果

< 春季 >

沼内におけるDOの顕著な低下や、Chl-aの局在はみられなかった。(図3)

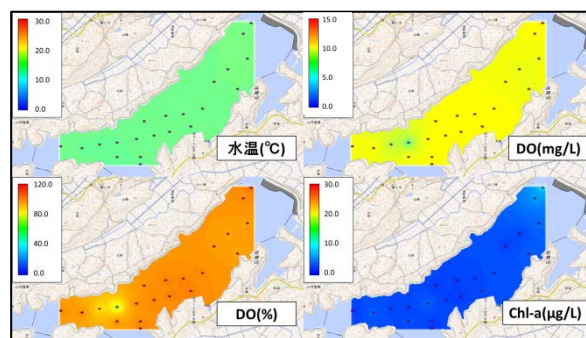


図3 長沼春季底層濃度分布

断面解析の結果、水温躍層の形成はなく、深度によるDOやChl-aの局在はみられなかった。(図4)

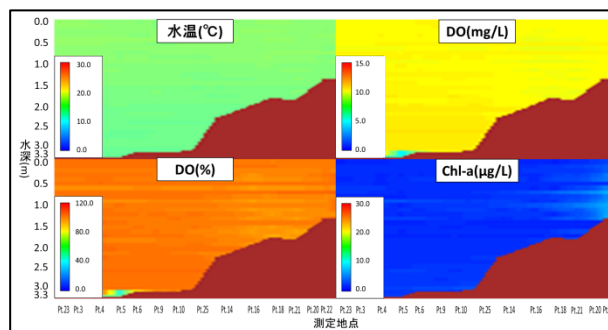


図4 長沼春季断面濃度分布

< 夏季 >

湖内全域で酸素濃度の顕著な低下は見られなかったも

の、下流域にて、貧酸素化した地点を確認した(1.7mg/L～2.8mg/L)。この地点ではChl-aの濃度が他地点(13.2～23.6 μ g/L)に比べて低く(4.6～8.0 μ g/L)となっており、光合成による酸素生成が他地点よりも少なくなっていることが考えられた。(図5)

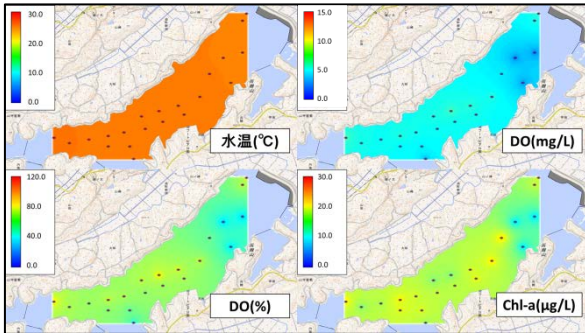


図5 長沼夏季底層濃度分布

断面解析より、水温躍層が形成されていないことを確認した。また、DO及びChl-aは底層だけでなく表層まで濃度の低下を起こしていたことがわかった。(図6)

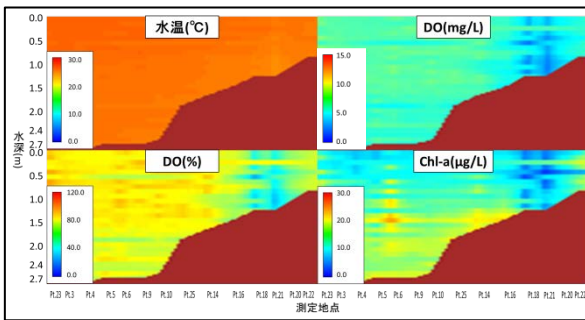


図6 長沼夏季断面濃度分布

近隣に存在する伊豆沼における研究⁶⁾では、繁茂するハスの下ではDOが0付近まで低下することが報告されており、DOの低下の見られた地点は周囲をハスに囲まれていることから、低DOの水が近隣に存在すると思われる。

<秋季>

底層DOは、夏季と比べて沼内全域で上昇しており、1地点を除き貧酸素状態は改善されていた。(図7)

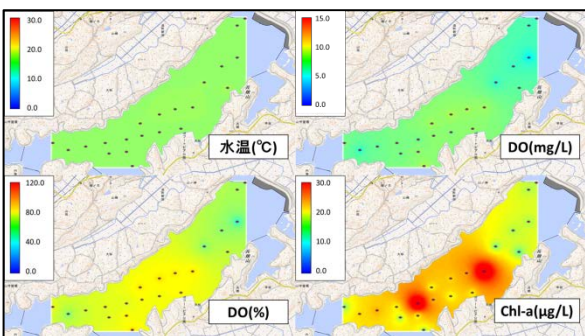


図7 長沼秋季底層濃度分布

断面解析より、夏季にDOが低下していた地点では、貧酸素状態は改善されていたものの、他地点よりも表層までDOが低い傾向がみられた。(図8)

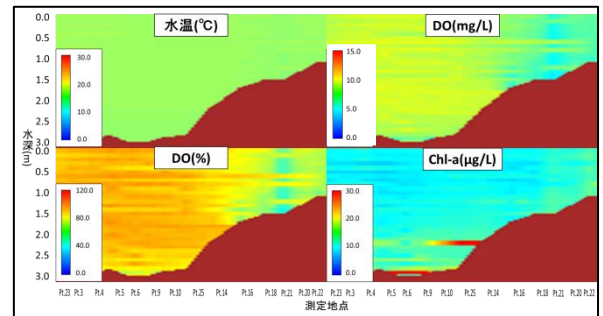


図8 長沼秋季断面濃度分布

同様にDO飽和度も周囲より低下していたが、夏季に見られたChl-a濃度低下との相関は見られなかった。このことより、長沼のDO低下は必ずしもChl-aの局在に依らないことが示唆された。

3.3.2 漆沢ダム水質測定結果

<春季>

底層DOの低下は確認されなかった。(図9)

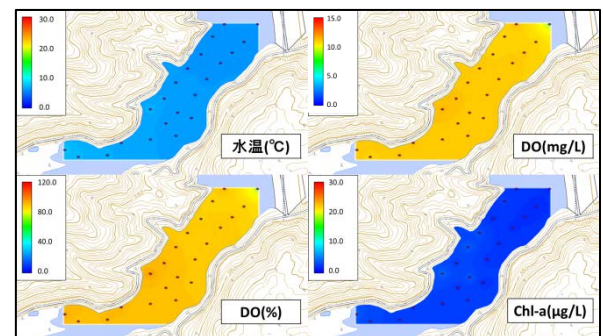


図9 漆沢ダム春季底層濃度分布

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り、貧酸素化はしていないものの、表層付近でDOの過飽和が確認された。(図10)

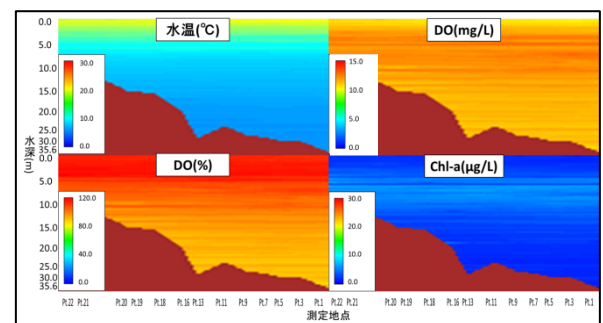


図10 漆沢ダム春季断面濃度分布

<夏季>

水深が深くなるダムの下流域で水温及びDOの低下(1.7～4.1mg/L)が見られたが、上・中流では顕著な濃度低下は見られなかった。(図11)

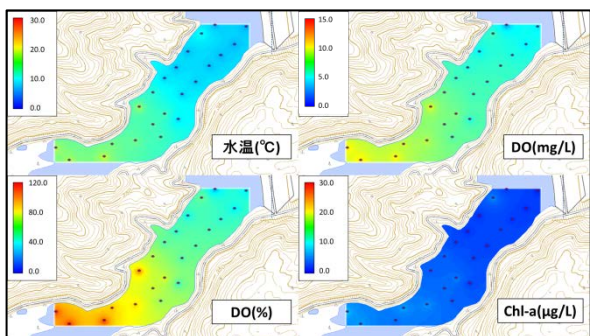


図11 漆沢ダム夏季底層濃度分布

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12)

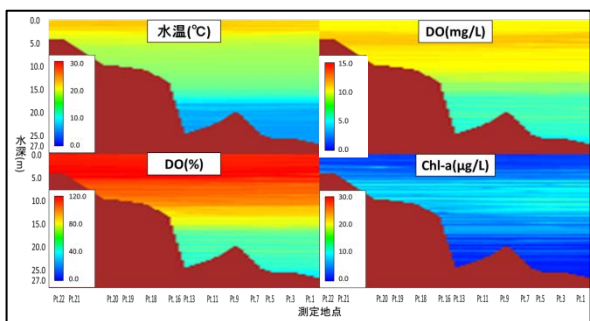


図12 漆沢ダム夏季断面濃度分布

上・中流部は水深がDO低下を起こす躍層の上だったために底層DOの低下が見られなかったようである。

<秋季>

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13)

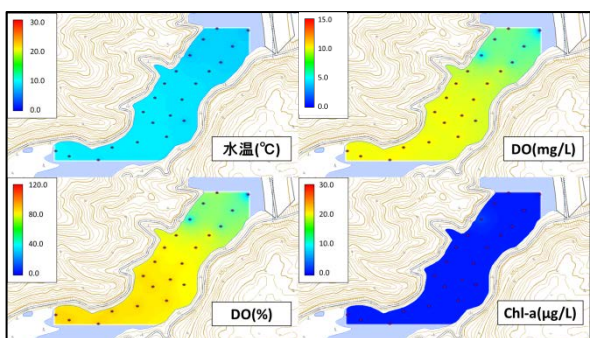


図13 漆沢ダム秋季底層濃度分布

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、下層までほぼ均一となっていた。(図14)

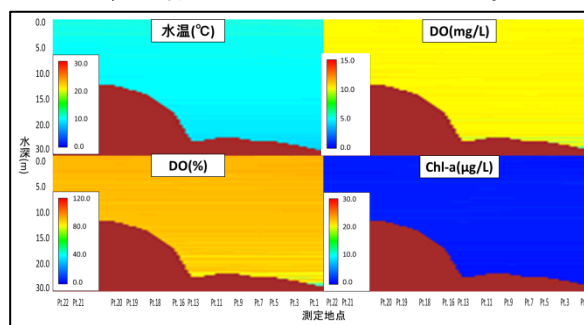


図14 漆沢ダム秋季断面濃度分布

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。

この躍層の解消は、気温の低下に伴うもののほか、秋季調査直前の台風21号の上陸や台風22号の接近の影響が考えられた。台風接近に伴い、ダムの水位調節や流入水の増加、暴風による攪拌などが起こったためと思われる。最深部付近が貧酸素状態となっていたのは、水深が大きいために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、ダム湖としては特別な状況ではなく、例年同様の水質と考えられた。

3.4 水質分析

<長沼>

採水を行った全地点で春季、夏季、秋季ともに表層のCOD値が7.2～8.6mg/Lと環境基準(5mg/L)を超えていたが、他の項目では特に異常な値は見られなかった。

沼内水質は上流、下流、表層、下層間で大きな差は見られなかった。

<漆沢ダム>

採水を行った全地点で春季、夏季、秋季ともに表層のCOD値が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、全季節で鉄、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。

<2湖沼の比較>

長沼では窒素、リンなどの栄養塩濃度やCODやSSのみならず、電気伝導度、鉄やマンガンといったほぼ全ての分析値が漆沢ダムの数倍から数十倍程高くなっており、富栄養化が進んでいることが示唆された。

4. まとめ

<生息魚種調査>

アンケート調査の実施により、長沼にはこれまで40種の魚種が生息しており、現在は30種の生息を確認できた。

なお、既知の貧酸素耐性値が高い魚、低い魚はともに現在も生息していた。

一方の漆沢ダムでは、ダム建設前を含め11種の魚種が生息していたが、現在確認できるのは9種となっており、既知の貧酸素耐性が高い魚は生息を確認できなかった。

＜現地水質調査＞

春季・夏季・秋季に多項目水質計を用いて、各湖沼の水温、D0等の水域内濃度分布を調査した。

その結果、両湖沼共に、夏季の下流域にて底層D0が低下していることを確認した。

長沼における貧酸素化は、水深が浅く流量も少ないために水質に表層・底層で大きな差はなく、周囲をハスに囲まれた地点特異的なものであった。

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ある水深約16m以下の地点からD0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、水深が浅く流量が少ない湖沼では水温躍層が形成されず、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れと考えられた。

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、一定水深以上の湖内全域が貧酸素化を起これと考えられるなど、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。

＜課題と展望＞

本研究にて、各湖沼に生息する魚種を把握することができたほか、水域に特徴的な貧酸素化が起こる地点を確認することができた。

しかしながら、現時点では把握した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いないほか、生息魚の湖沼内の生息域などの知見が不足している。

今後、これらの課題を克服し、類型あてはめを進める

ためには、環境省や国立環境研究所、他地方環境研究所と協働した取組や、専門家の助言などといった知見収集が不可欠である。

本研究によって得られた湖沼別のD0値の平面、垂直分布や生息魚種の知見は、今後類型指定を行う際の基礎資料の一端として活用を見込むことができる。

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これ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つなげることができ、適正な水域環境の保全のために役立つことが期待される。

5. 引用文献

- 1) 中央環境審議会：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（答申）（平成27年12月7日 中環審875号）
- 2) 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3月30日 環境省告示第37号）
- 3) 宮城県内水面水産試験場：みやぎの淡水魚（2004）
- 4) 環境省：底層溶存酸素量の目標設定の検討について（案）
- 5) 丸茂恵右，横田瑞郎：貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査．海洋生物環境研究所研究報告報，第15号1-21（2012）
- 6) 安野 翔，嶋田哲郎，芦澤 淳，星 雅俊，藤本泰文，菊地永祐：伊豆沼のハス群落拡大に伴う貧酸素化の底生動物群集への影響．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/>