

令和3年度諏訪湖創生ビジョン推進事業

調査結果報告書

令和4年3月

長野県

【目次】

はじめに

本編

第1章	溶存酸素濃度等連続測定調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	1
第2章	プランクトン調査		
1	植物プランクトン調査 (松本保健福祉事務所検査課)	・ ・ ・ ・	14
2	動物プランクトン調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	16
第3章	覆砂場所のモニタリング調査		
1	水質調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	24
2	底質調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	34
3	シジミ調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	44
4	底生生物及び魚類モニタリング調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	49
第4章	ヒシ刈り取り場所のモニタリング調査 (諏訪建設事務所)	・ ・ ・ ・	53
第5章	ワカサギの資源量調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	78
第6章	水生動植物調査		
1	諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	81
2	メガネサナエのモニタリング (諏訪地域振興局環境課)	・ ・ ・ ・	87
第7章	底質環境に関する調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	89
第8章	総括	・ ・ ・ ・	99

資料編

はじめに

本報告書は令和3年度に長野県が実施した諏訪湖に関連する事業のうち、平成30年3月に策定した諏訪湖創生ビジョンの長期ビジョンの実現に向けて実施した「諏訪湖創生ビジョン推進事業」の環境改善の調査結果等をまとめたものです。

目次に記載のとおり、各章ごとに調査実施機関が、調査概要、調査結果、関連調査の結果等を踏まえた考察等を取りまとめました。

調査で得られた実測値等の一部は資料編として最後にまとめてありますが、それらの扱いに当たっては、本編に記載の調査方法や分析方法によって得られた値であることに留意して下さい。

なお、第1章については、県と共同研究を実施した信州大学の調査結果を加えて取りまとめてあります。

結びに、本報告書の作成に当たり調査結果のデータ等を提供いただいた信州大学理学部附属湖沼高地教育研究センター諏訪臨湖実験所の宮原教授、第1章の溶存酸素濃度等連続測定で使用した測定器を県に寄贈いただいた「抱きしめてプロジェクト in 信州 実行委員会」ならびに諏訪湖ロータリークラブにこの場を借りて御礼申し上げます。

第1章 溶存酸素濃度等連続測定調査

環境保全研究所 水・土壌環境部

1.1. 目的

湖内に溶存酸素（DO）濃度および水温の連続測定器を設置して貧酸素水塊の状況を把握し、貧酸素水塊の発生・解消メカニズムの解明、貧酸素対策の検討および底層溶存酸素量の環境基準類型指定のための基礎資料とする。

1.2. 調査測定方法

湖内の観測地点の5地点（A、B、C、D、E）および湖心に固定された浮標に、測定器をロープで所定の深度位置に係留し、DOと水温の連続測定を行った（測定間隔：10分）（図1および写真1）。

但し、湖心での測定については信州大学 諏訪臨湖実験所が実施した。

装置：HOBO 溶存酸素データロガーU26-001（蛍光式）

調査期間：令和3(2021)年6月上旬～12月中旬



図1 湖内の測定地点

各地点の測定水深は以下のとおりとした。

表1 測定地点の全水深と測定水深

地点	緯度	経度	現地 全水深 (m) ¹⁾	測定水深 (m)				
				0.5	2.0	3.0	4.0	5.0
A	36° 03′ 15.22″	138° 03′ 41.28″	2.53	0.5	2.0			
B	36° 03′ 29.53″	138° 05′ 52.76″	4.51	0.5	—	3.0	4.0	
C	36° 02′ 54.03″	138° 06′ 18.40″	2.37	0.5	2.0			
D	36° 02′ 44.34″	138° 04′ 27.70″	5.75	0.5	—	3.5	—	5.0
E	36° 02′ 43.64″	138° 03′ 50.45″	4.27	0.5	—	3.0	4.0	
湖心	—	—	—	0.5	1.5	3.0		5.0

1) 現地水深：令和3(2021)年6月30日測定

A地点



B地点



C地点



D地点



E地点



写真1 湖内の測定地点の様子(8月2021年)

1.3. 調査結果の概要

DO 濃度をモニタリングした結果を図2-1(湖心、A地点)、図2-2(B地点、C地点)および図2-3

(D地点、E地点)に示した。調査地点の中で、全水深の深い湖心、B地点、D地点およびE地点における最深測定点で、6月上・中旬から10月中旬までDO濃度が4 mg/Lを下回る貧酸素状態から無酸素状態になることがあり、特に7月下旬～9月下旬の時期を中心に継続的、あるいは高頻度の断続的な貧酸素化が生じていた。

一方、7月上旬から中旬、8月の中旬から下旬、および9月上旬から中旬にかけては、これらの測定点で低下した最深測定点のDO濃度が6～8 mg/L程度まで回復する現象がみられた。

この時期は、梅雨前線や湿った空気の影響を受けて、降水量が多くなった時期³⁾であり、河川からの流入などを含めて気象の影響を受けたものと思われる。8月中旬には前線が本州付近に停滞し、断続的に激しい雨が降り続き、記録的な大雨となったところがあり、土砂災害や住家の浸水など大きな被害が発生するような状況であった。

全水深の浅いA点、C点では長期間の継続的な貧酸素(<3 mg/L)～無酸素状態はみられなかった。

3) 長野県の気象概況 令和3年(2021年)8月、長野地方気象台

湖心の5m層では、5月後半にも散発的にDO<3 mg/Lとなることがあったが、その継続時間はそれほど長くはなかった。半日以上DO<3 mg/Lが継続するようになるのは6月半ば(6/14)以降であり、10月中旬までは、無酸素～貧酸素状態(<3 mg/L)が間欠的に現れた。DO<3 mg/Lになるのは10/15の午後の短期間(4時間弱)が最後であった。

A点の2m層で初めてDO<3 mg/Lとなったのは6月中旬(6/17)であり、継続時間は0.3h程度であった。また、最後にDO<3 mg/Lとなったのは10月上旬(10/6)であり、継続時間は6.5h程度であった。

B点の4m層で初めてDO<3 mg/Lとなったのは6月中旬(6/11)であり、継続時間は6h程度であった。また、最後にDO<3 mg/Lとなったのは10月中旬(10/12)であり、継続時間は0.5h程度であった。

C点の2m層で初めてDO<3 mg/Lとなったのは6月下旬(6/20)であり、継続時間は短かった(0.2h程度)。また、最後にDO<3 mg/Lとなったのは9月中旬(9/12)であり、継続時間は2h程度であった。

D点の5m層で初めてDO<3 mg/Lとなったのは6月中旬(6/19)であり、継続時間は2h弱であった。また、最後にDO<3 mg/Lとなったのは10月中旬(10/16)であり、継続時間は6h弱であった。

E点の4m層で初めてDO<3 mg/Lとなったのは6月上旬(6/8～9)であり、継続時間は6h弱程度であった。また、最後にDO<3 mg/Lとなったのは10月中旬(10/16～17)であり、継続時間は15h弱程度であった。

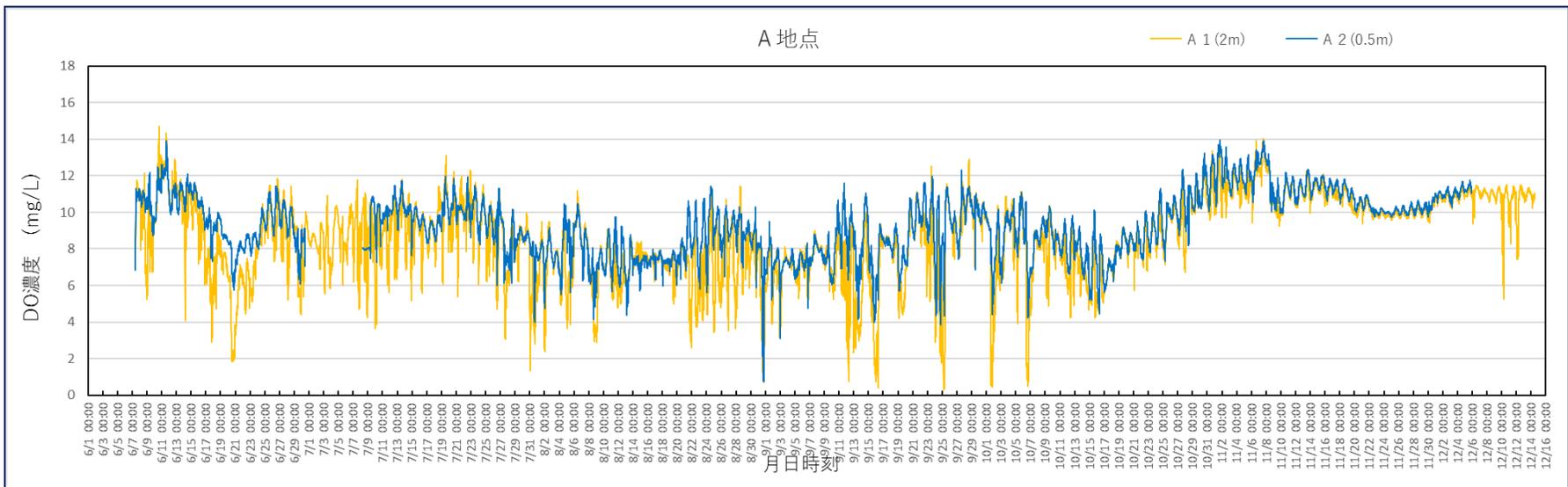
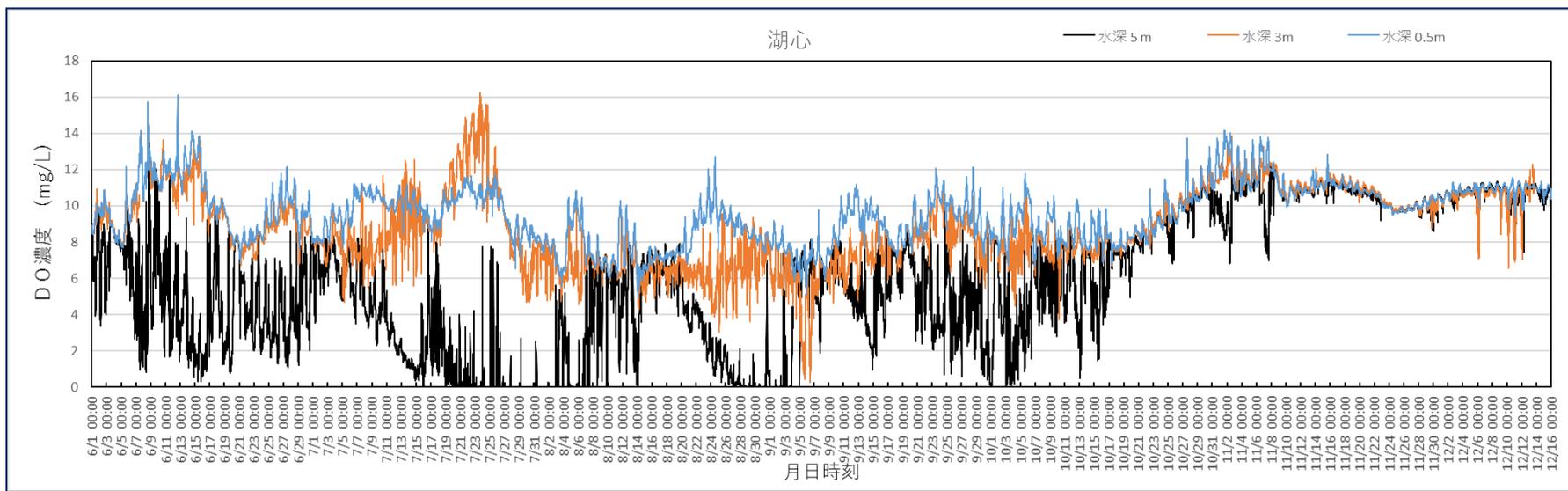


図2-1 各地点におけるDO濃度の変動（湖心、A地点）

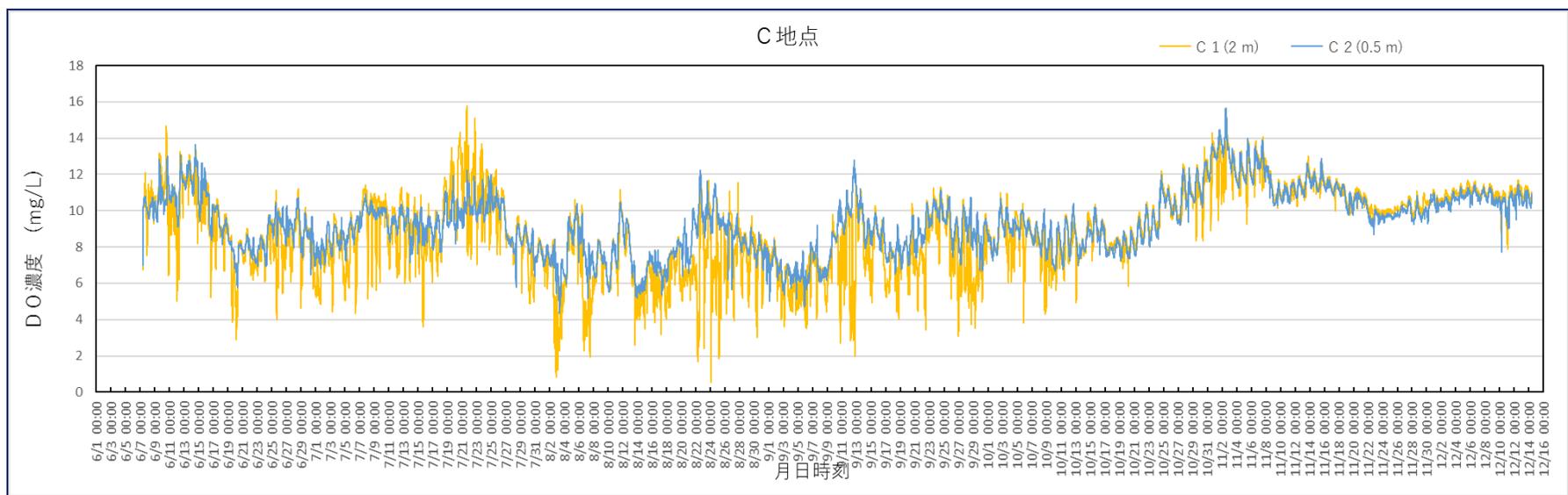
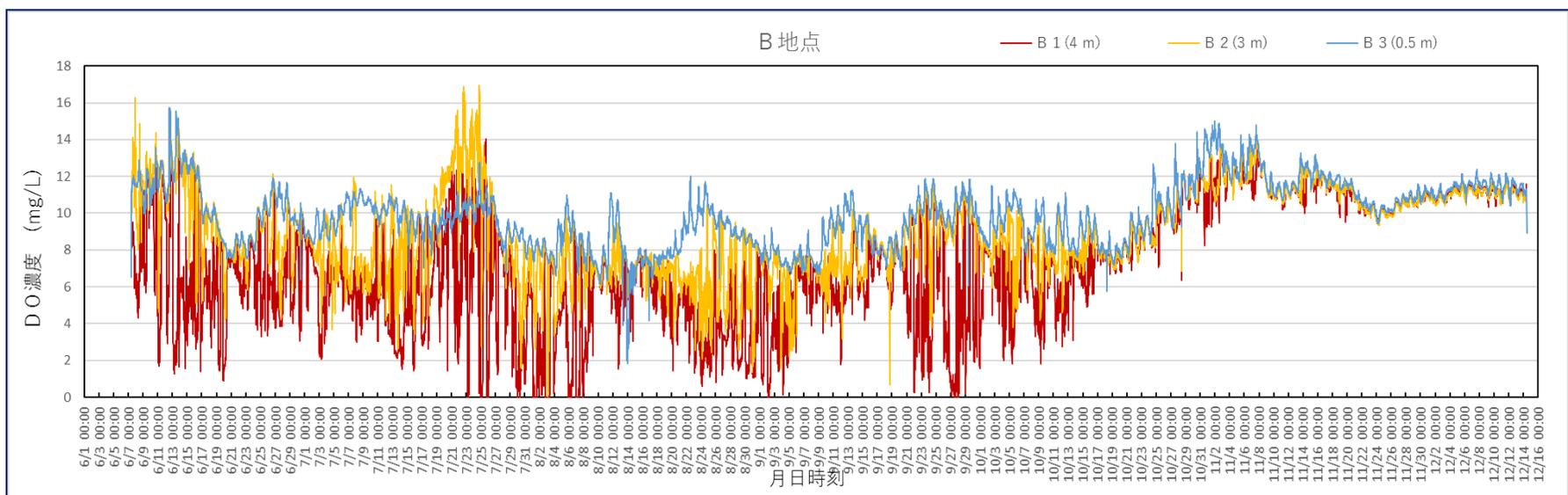


図2-2 各地点におけるDO濃度の変動 (B地点、C地点)

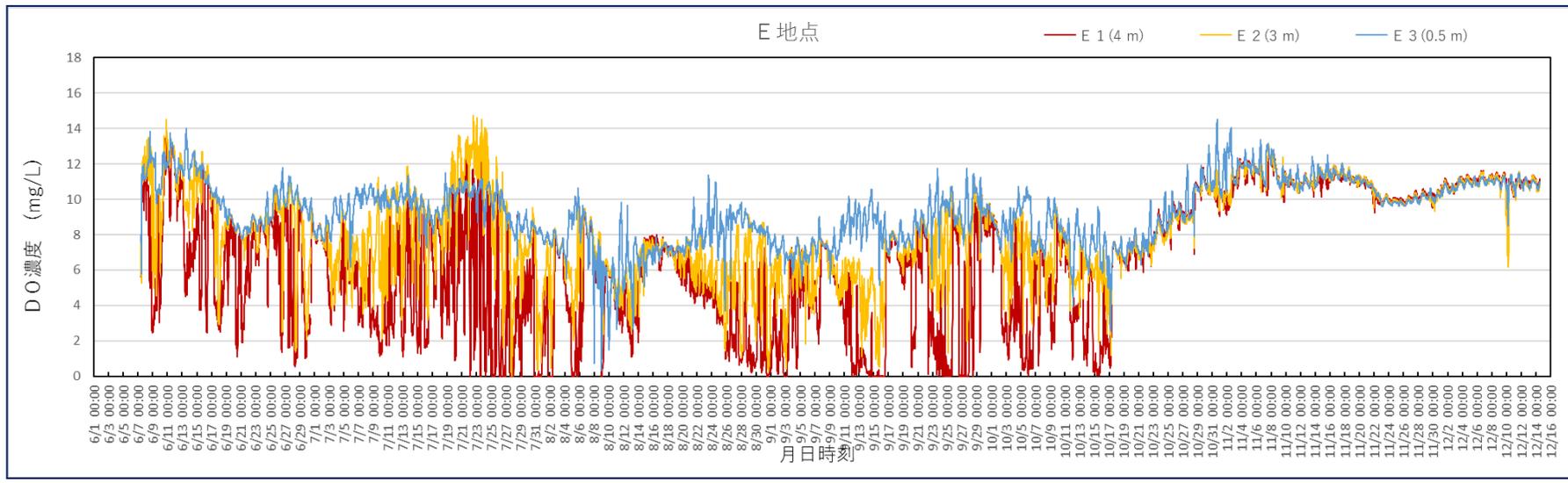
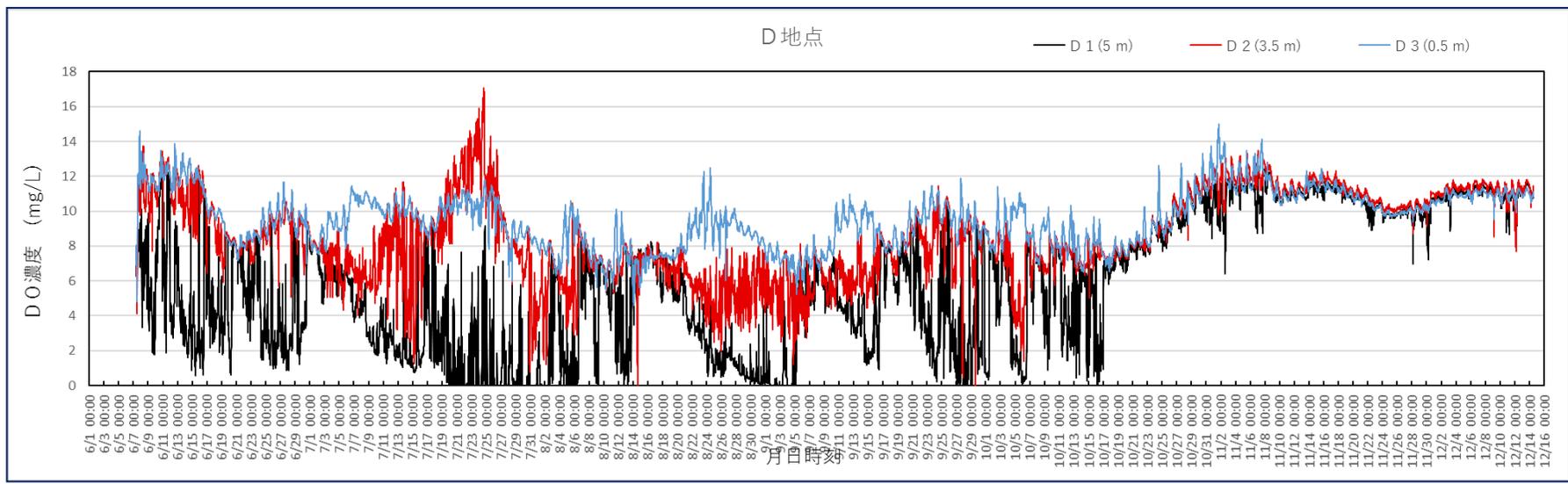


図2-3 各地点におけるDO濃度の変動（D地点、E地点）

なお、各調査月の半月間の期間内測定割合が 50%を下回ったのは、調査期間の 6 月前半～12 月前半の中で、12 月前半（A 地点 0.5 m 層）のみであった。

次に、DO と水温の変動を地点ごとに半月間のデータの平均値で比較した（図3-1および図3-2）。

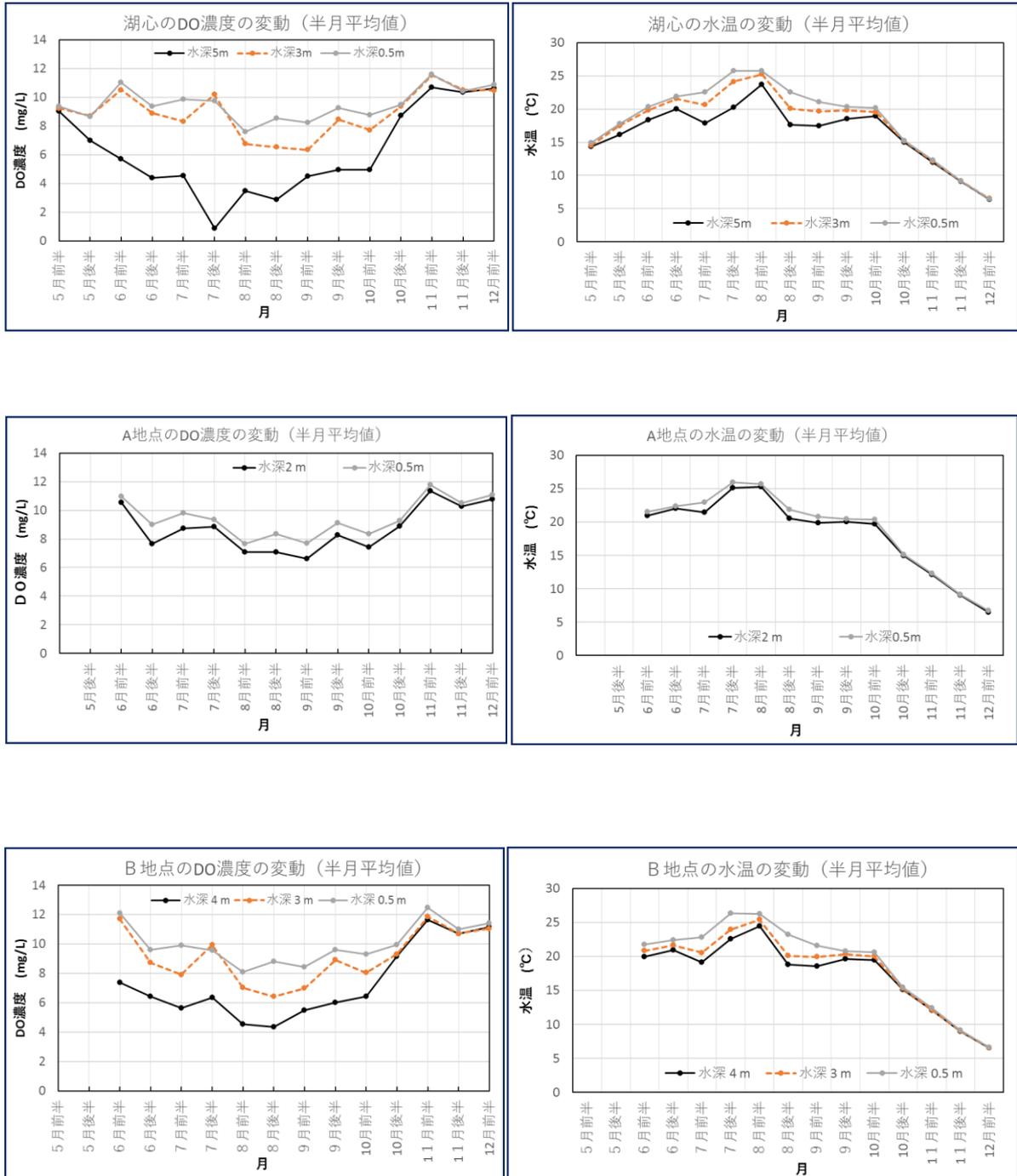


図3-1 各地点におけるDO、水温の比較(湖心、A地点、B地点)

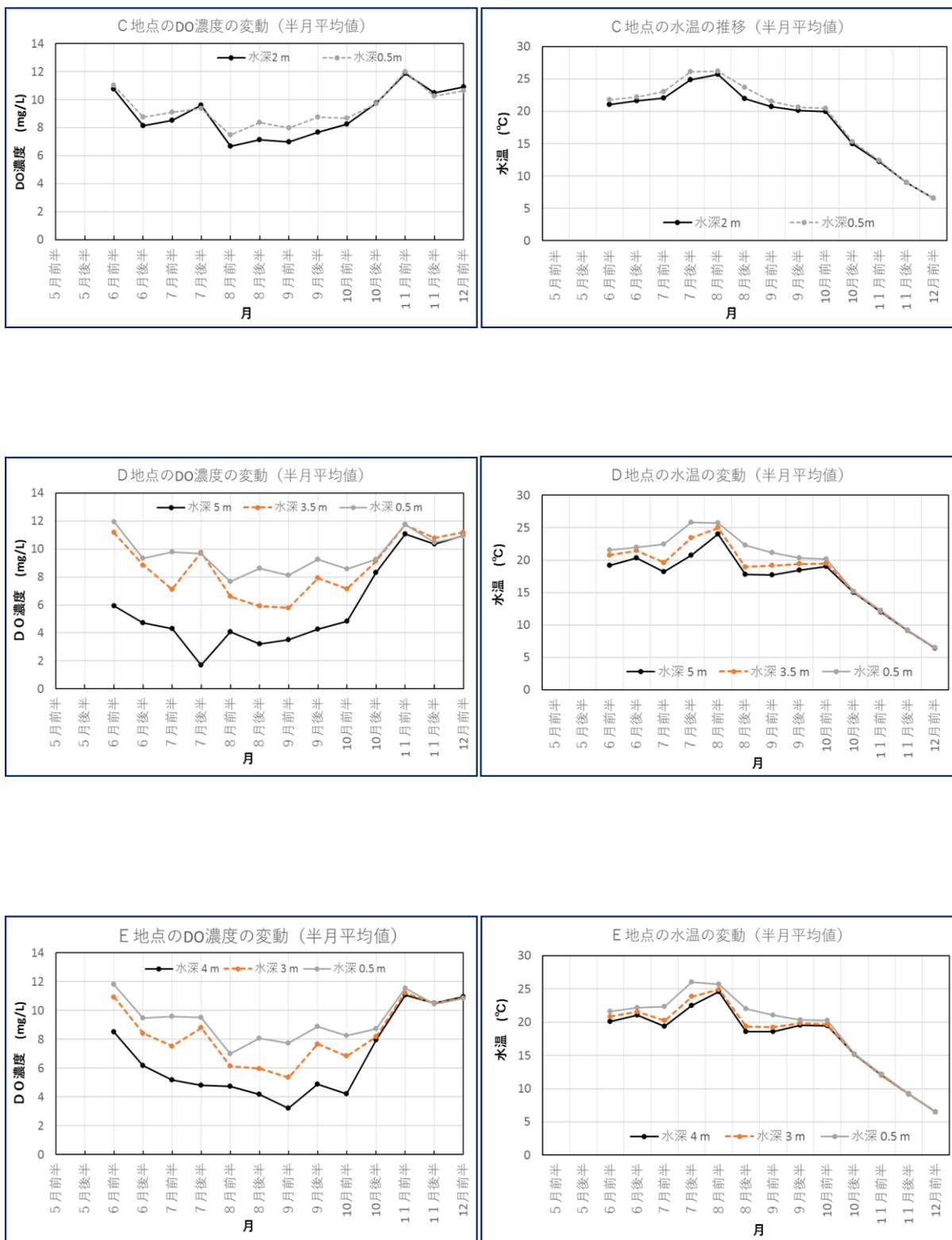


図3-2 各地点におけるDO、水温の比較(C地点、D地点、E地点)

A地点、C地点においては、半月平均値としてDO濃度の大きな低下はなく、深い層(水深2.0m)

での最低値はA地点で9月前半の6.6 mg/L、C地点で8月前半の6.7 mg/Lあった。また、表層(水深0.5 m)のDO濃度(半月平均値)はそれより0.1~1.3 mg/L程度の範囲で高い濃度であったが、C地点では深い層(水深2.0 m)の方がDO濃度(半月平均値)が高い(0~0.3 mg/L程度)時期もあった。

一方、水温の半月平均値については、表層(水深0.5 m)と底層(水深2.0 m)の差は6月前半~9月後半にかけてA地点で0.4~1.5°C、C地点で0.5~1.7°Cとなり、特に7月前半~8月後半にその差が大きかった。

B地点の底層(水深4.0 m)のDO濃度の半月平均値はA地点、C地点に比べて低下がみられ、DO半月平均値の最低値は4.3 mg/L(8月後半)であった。また、水深3.0 mでのDO半月平均値の最低値は6.4 mg/Lで、表層でのDO半月平均値は8.1~12 mg/L程度であった。

一方、水温の半月平均値については、表層(水深0.5 m)と底層(水深4.0 m)の差が7月前半~9月前半で大きく、3~4°C程度であったが、9月後半以降は差が1.2°C程度以下に小さくなっていった。

D地点では、水深5.0 mでDO半月平均値が7月後半に3.0 mg/Lを下回る状況がみられ、その最低値は1.7 mg/L(7月後半)であった。また、水深3.5 mでのDO半月平均値の最低値は5.8 mg/L(9月前半)であり、水深0.5 mでは大きな低下は見られなかった。

一方、水温の半月平均値については、表層(0.5 m)と底層(5.0 m)の差が7月前半~9月後半にかけて2~5°C程度と大きかった。

E地点では、底層(水深4.0 m)でDO半月平均値が3.0 mg/Lを下回るDO濃度低下はみられず、その最低値は3.2 mg/L(9月前半)であった。水深3.0 mでは5.4 mg/L程度までのDO低下がみられた。表層では大きな低下はみられなかった。

一方、水温の半月平均値については、表層(0.5 m)と底層(4.0 m)の差が7月前半~9月前半で1~3.5°C程度であった。

湖心では、水深5.0 mでDO半月平均値が7月後半~8月後半に3.0 mg/Lを下回る状況がみられ、その最低値は0.9 mg/L(7月後半)であった。また水深3.0 mでは6月~9月のDO半月平均値の最低値が6.3 mg/L(9月前半)である一方、7月後半には表層(0.5 m)よりもDO半月平均濃度が高くなった。この原因としては、植物プランクトンの影響が考えられる。

一方、水温の半月平均値については、表層(0.5 m)と底層(5.0 m)の差が7月前半~9月前半にかけて2~5.5°C程度と大きかった。

総じてみると、DO半月平均値からみて底層でDO濃度低下が顕著に現れたのは全水深の深い湖心、D地点、E地点、およびB地点であり、DO濃度低下を全体的にみると、

D ≒ 湖心 > E > B >> A ≧ C であり、この順番は昨年度の調査結果と同様であった。

次に、DO 低下、貧酸素化の程度を比較するため、10 分ごとの DO 測定値において 3 mg/L 以下となった測定回数の割合を半月ごとに算出し、図示した（図4-1および図4-2）。

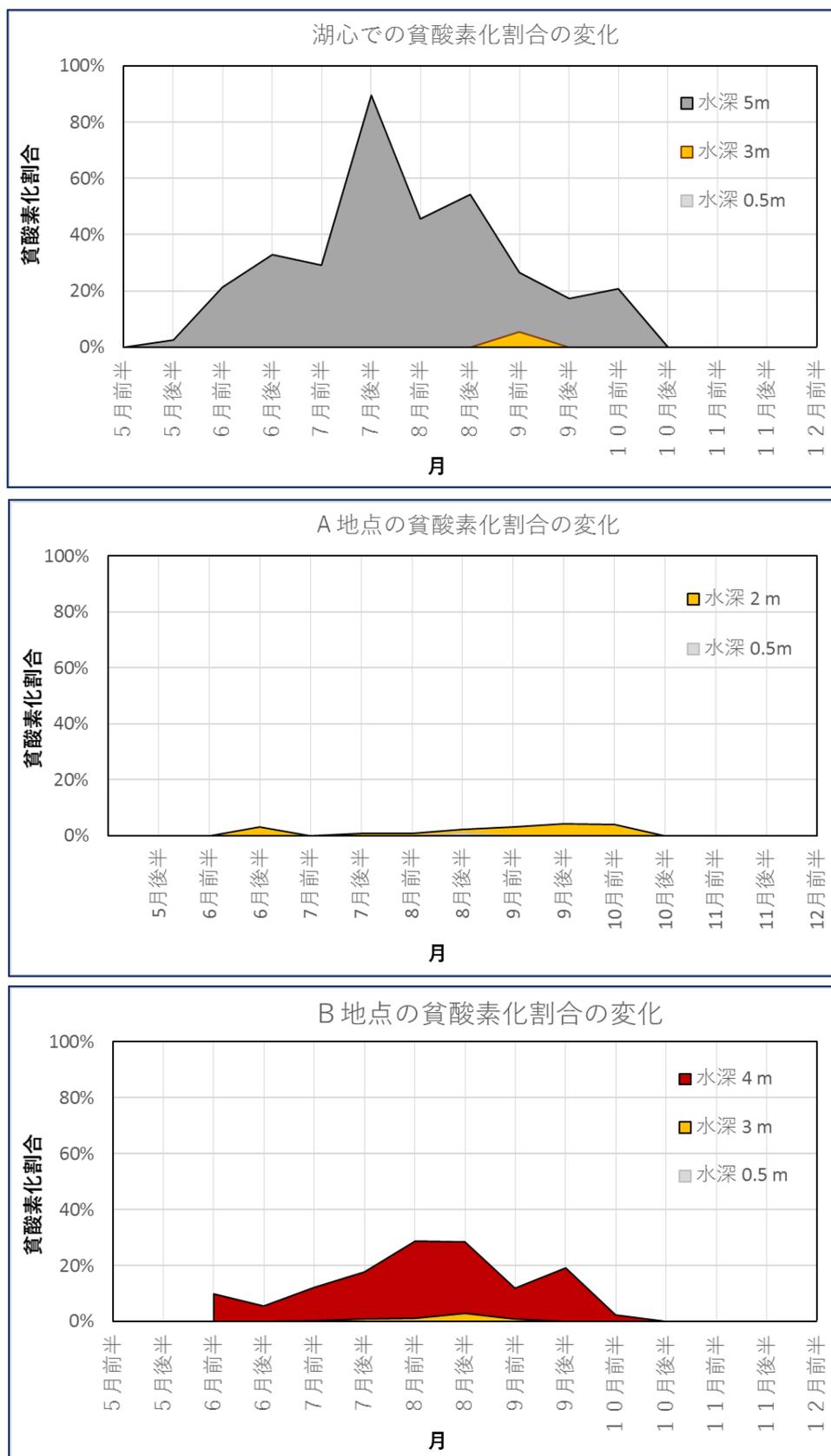


図4-1 各地点における貧酸素化の比較（湖心 A地点、B地点）

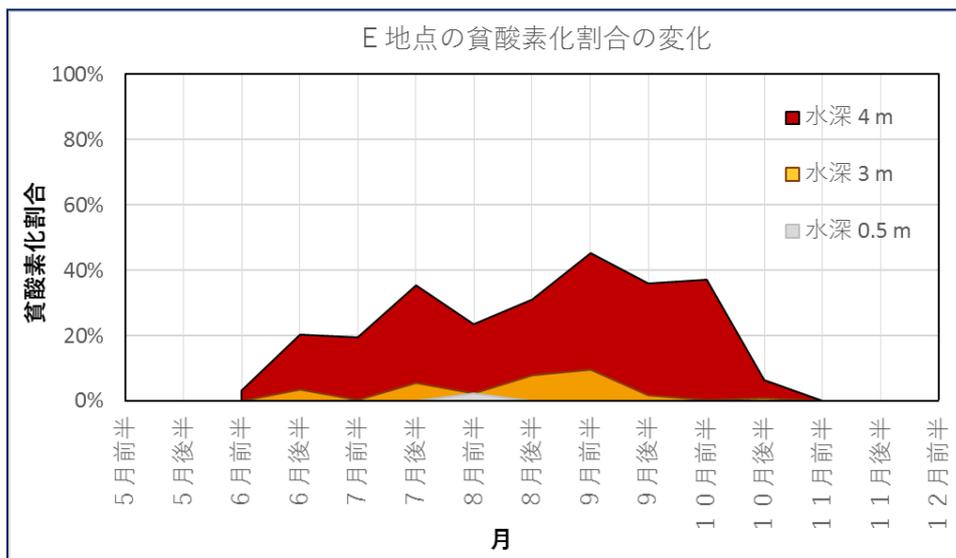
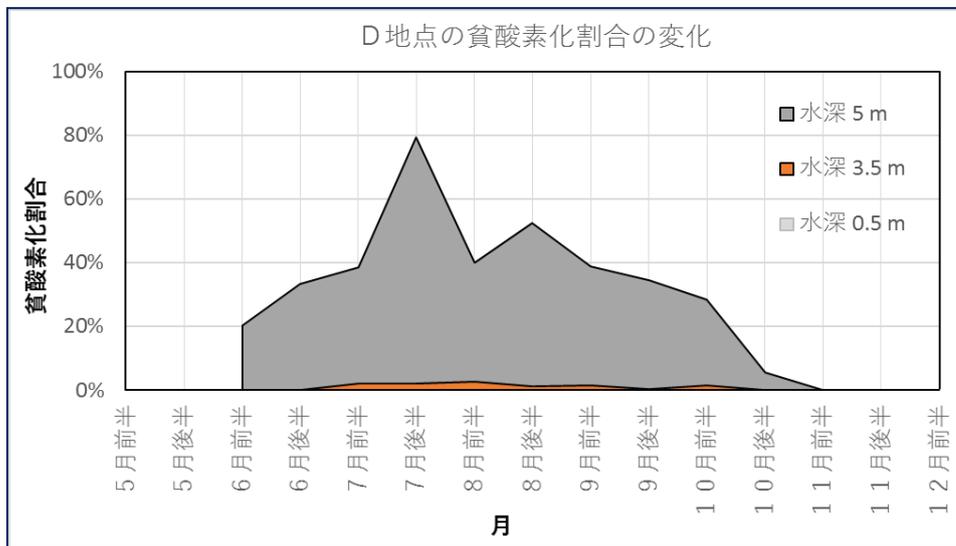
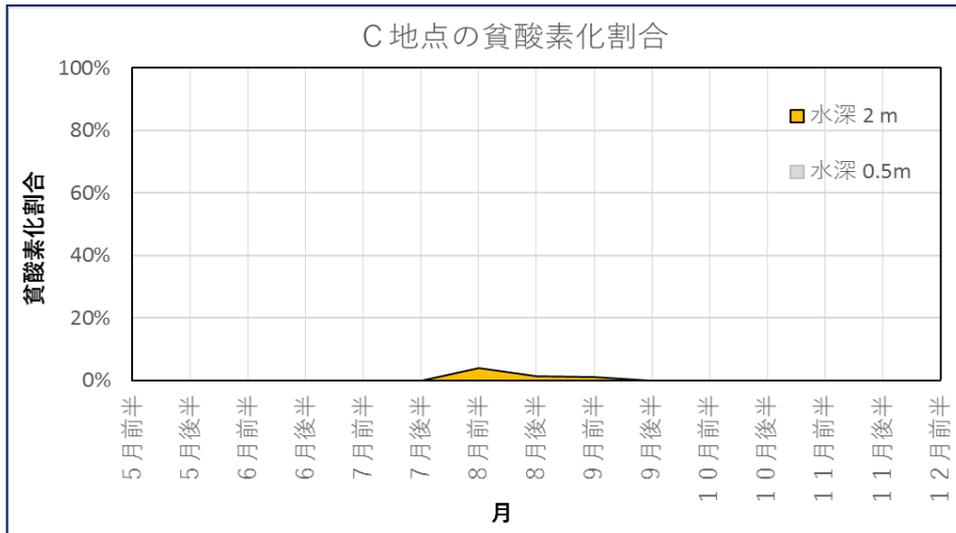


図4-2 各地点における貧酸素化の比較 (C地点、D地点、E地点)

各地点の底層の貧酸素化割合(比率)をみると、

$D \geq \text{湖心} > E > B \gg A \geq C$ であった。

これらの地点(底層)の中で、全水深の浅いA地点、C地点では貧酸素化割合(比率)があまり大きくはならず、最大値はA地点で4.2%(9月後半)、C地点で3.8%(8月前半)であった。これらは昨年度の値(2020年度の最大値はA地点で4.0%(9月後半)、C地点で2.9%(8月後半))と比べてほぼ同等の小さい値であった。

一方、全水深が深い他の4地点の底層では貧酸素化割合(比率)が高いのは7月~9月であり、半月毎の貧酸素化割合(比率)は湖心では17~89%、D地点では34~79%、E地点では19~45%、B地点では12~29%であった。これらを令和2(2020)年度の値と比較すると、D地点、湖心では小さい値であった。

(参考)

令和3(2021)年度の各月の風況について

調査期間の令和3(2021)年5月~12月における諏訪湖の風況を知るため、諏訪特別地域気象観測所の気象観測データ(毎正時データ)から各月の風配図を作成した(図5)。

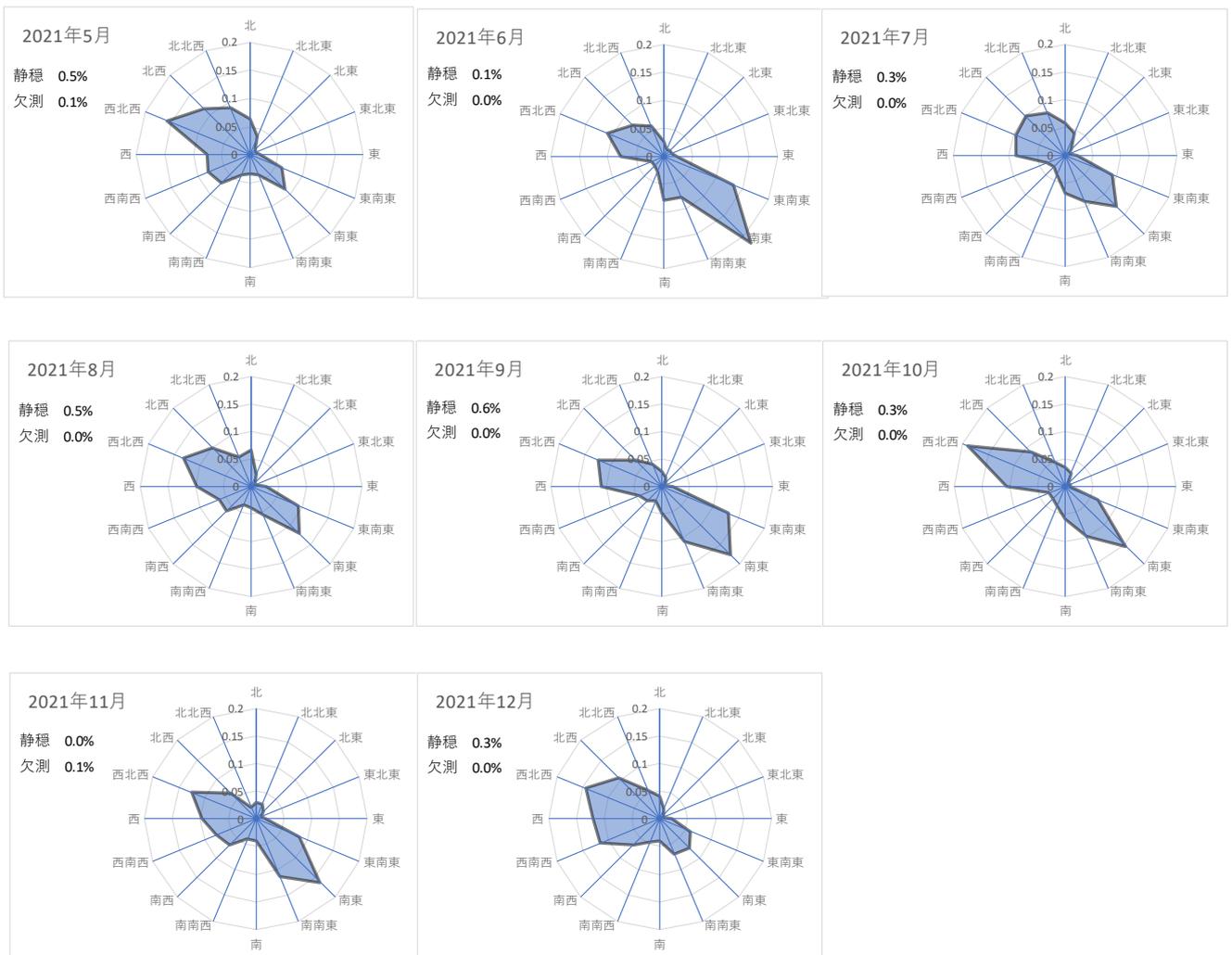


図5 調査期間の各月の風配図

調査期間（5月～12月）内の主風向は、西北西寄り（北西～西北西～西）の風であり、次には南東寄り（東南東～南東～南南東）の風であった。

各月の両者の関係をみると、6月および9月は南東寄り風が西北西寄り風と比べ、ほぼ同等かやや卓越していたが、他の月（5、7、8、10、11、12月）は両者は逆転して、西北西寄り風が卓越していた。

第2章 プランクトン調査

2.1. 植物プランクトン調査

松本保健福祉事務所検査課

2.1.1. 調査目的

平成28年7月に発生したワカサギ等魚類の大量死亡の際、植物プランクトンの減少が確認されたため、植物プランクトン及び動物プランクトンを定期的に調査し、情報を収集する。

2.1.2. 調査方法

月1回の水質常時監視時に、表層は湖面から水深0.5m、下層は湖底から0.5mで採水した。

採水した試料に中性緩衝ホルマリン液を5%濃度となるよう添加し、静置濃縮した後、「上水試験方法2011年版 VI. 生物編（日本水道協会）」を参考に、標準計数板を用いて検鏡、計数し、試料1mL当たりの細胞数を算出した。

種類は属レベルまで分類し、藍藻類、珪藻類、緑藻類、鞭毛藻類に分類した。

2.1.3. 昨年度との結果と今年度の比較

令和2年について、令和元年10月から増加し始めた珪藻類は、更に顕著に増加し、4月にピークとなった。4月以降は全体の生物量が減少に転じたが、珪藻類が優占する状況は続いた。8月から生物量全体は増加に転じたが、9月以降は減少傾向となった。10月以降は小型藍藻類が優占した（図1）。

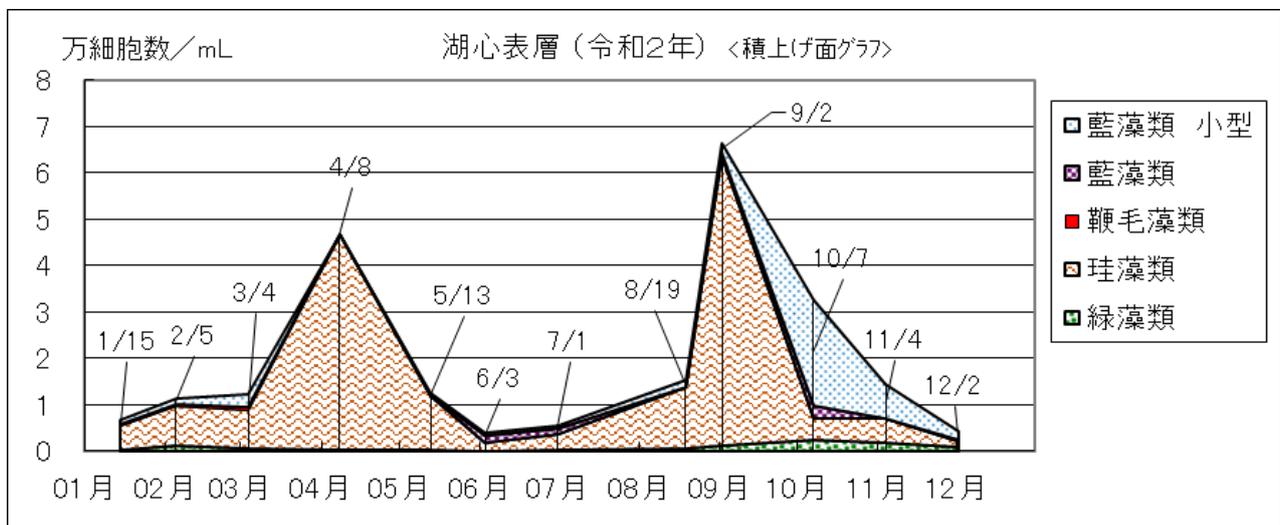


図1 令和2年の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

令和3年に入ると、鞭毛藻類が増加した。鞭毛藻類が優占するのは過去にあまり見られない現象であるが、この時の優占種はDinobryon（ディノブリン、ヤツギ属）であった。3月から増加し始めた珪藻類は、4月にピークとなった。4月以降に全体の生物量は減少に転じたが、珪藻類が優占する状況は続いた。9月から全体の生物量は増加に転じ、夏場は藍藻類が優占した。10月以降は減少傾向となり、11月以降は珪藻類が優占した（図2）。

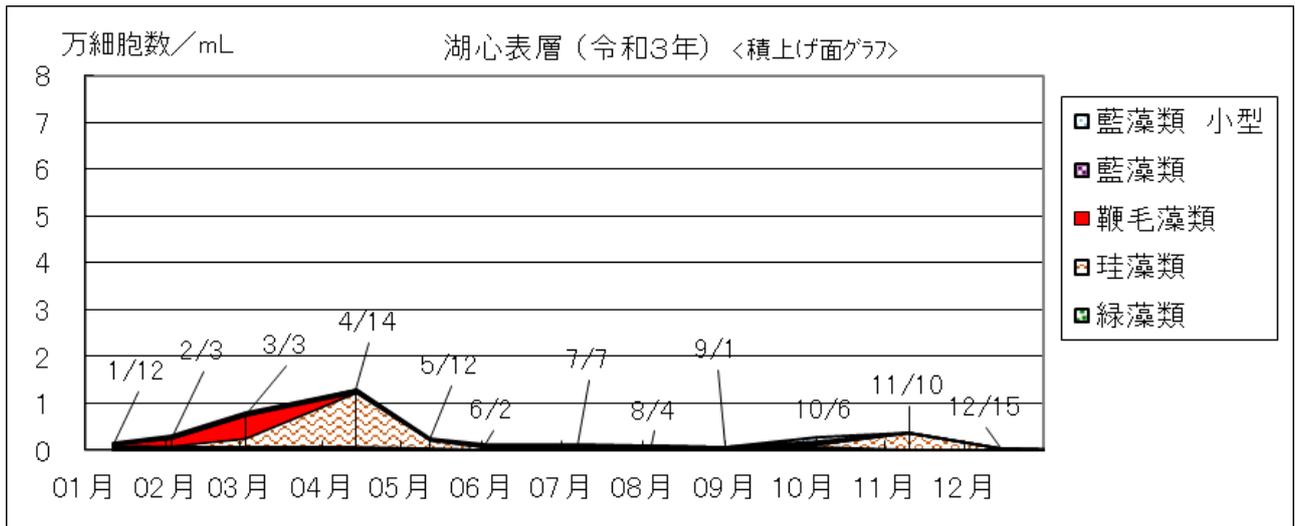


図2 令和3年の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

令和4年に入り、例年と同様に春先に向けて全体の生物量が増加し、珪藻類が優占した。この時の優占種は *Asterionella*（アステリオテラ、ホガタヱイワ属）であった（図3）。

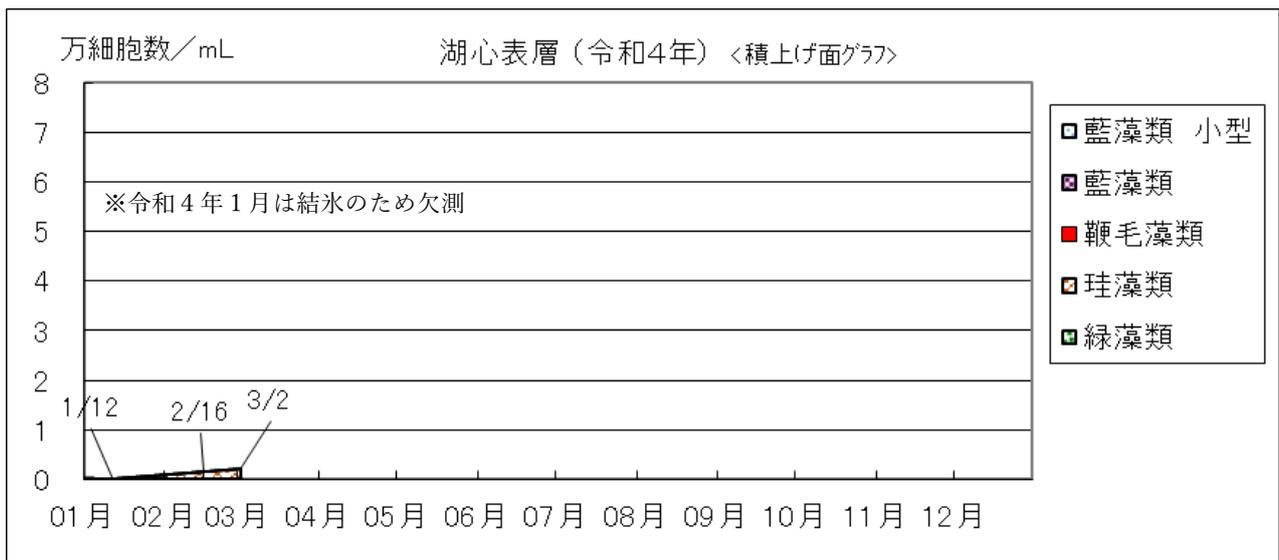


図3 令和4年の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

2.2. 動物プランクトン調査

水産試験場諏訪支場

2.2.1. 調査目的

平成 28 年 7 月に発生したワカサギ等魚類の大量死亡の際、植物プランクトンの減少が確認されたため、植物プランクトン及び動物プランクトンを定期的に調査し、情報を収集する。

2.2.2. 調査方法

諏訪湖湖心定点において表層から水深 5m までを、内径 5cm のカラム型採水器で柱状に 9.81L 採水した。採取した水は NXX25 (目合 63 μ m) のプランクトンネットで全量をろ過して、70%アルコールで固定した。採水は 2 回実施し、それぞれ別のサンプル瓶に保存した。

サンプルは室内に持ち帰ってから 100mL メスシリンダーに移し換え、24 時間静置沈殿させた後、上澄みを除去し、全量を 20 もしくは 40mL にした。サンプルをよく攪拌した後、1mL を採取し、界線入りスライドグラスに滴下し、光学顕微鏡を用いて、1mL 中の動物プランクトンの個体数を計数した。2 つのサンプルで 1 回ずつ検鏡した結果の平均値を、各調査日の動物プランクトン量とした。

確認した動物プランクトンは繊毛虫類、肉質虫類、ワムシ類、甲殻類に分別した。

◇繊毛虫(せんもうちゅう)類：単細胞の生物。体の表面に細かい毛を持つ。

◇肉質虫(にくしつちゅう)類：単細胞の生物。細胞の一部がやわらかくなって、流れ出た擬足を持つアメーバや多数の有軸仮足を持つ太陽虫が含まれる。

◇ワムシ類：袋状の体形で、口の周辺に細かい毛が生えている。

◇甲殻(こうかく)類：いくつかの節になった足を持つ節足動物の仲間。

カイアシ類：円筒状で、エビに似た体形をしている。

ミジンコ類：多くの種は卵形や円形をした左右 2 枚の殻で体が覆われ、そこに頭がついている。腕のように長い触角を持つ。

参考文献：水野寿彦・高橋永治編「日本淡水動物プランクトン検索図説」(東海大学出版会 1991)

滋賀の理科教材研究委員会編「やさしい日本の淡水プランクトン 改訂版」(合同出版 2008)

2.2.3. 調査結果

2.2.3.1. 調査日ごとの結果

○4月23日

動物プランクトンの総数は 1432.9 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 4.1 個体/L で、コドネラ属、エピスティリス属が確認された。ワムシ類の個体数は 803.1 個体/L であった。内、個体数の多い種はカメノコウワムシ属 2 種、ツボワムシ属、ミツウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 63.2 個体/L で、ノープリウス幼生、ケンミジンコ目、コペポディド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は 562.5 個体/L で、ゾウミジンコが確認された。肉質虫類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2021 年 4 月 23 日)

第1 優占種	ワムシ類	<i>Keratella</i> (カメノコウワムシ属)
第2 優占種	ミジンコ類	<i>Bosmina</i> (ゾウミジンコ属)



カメノコウワムシ属



ゾウミジンコ属

○5月25日

動物プランクトンの総数は485.1 個体/L であった。ワムシ類の個体数は236.4 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属であった。カイアシ類の個体数は8.2 個体/L でコペポデイド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は240.5 個体/L で、カブトミジンコが確認された。繊毛虫類および肉質虫類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2021年5月25日)

第1 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2 優占種	ミジンコ類	<i>Daphnia</i> (ミジンコ属)



ハネウデワムシ属



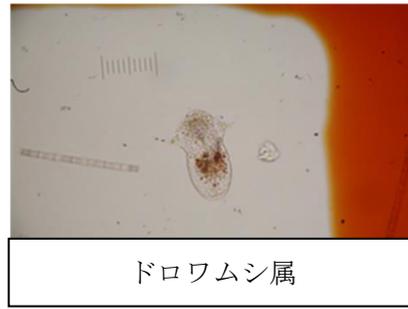
カブトミジンコ

○6月21日

動物プランクトンの総数は1595.9 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は32.6 個体/L で、コドネラ属、エピスティリス属が確認された。ワムシ類の個体数は1473.6 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ドロワムシ属、フクロワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は42.8 個体/L で、ノープリウス幼生、コペポデイド幼生、ヒゲナガケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は46.9 個体/L で、カブトミジンコ、ゾウミジンコが確認された。肉質虫類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2021年6月21日)

第1 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2 優占種	ワムシ類	<i>synchaeta</i> (ドロワムシ属)

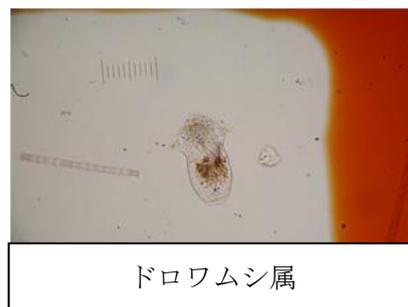


○7月21日

動物プランクトンの総数は1695.8個体/Lであった。繊毛虫類の個体数は6.1個体/Lで、コドネラ属が確認された。ワムシ類の個体数は1585.7個体/Lであった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ツボワムシ属、ミツウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は44.8個体/Lで、ノープリウス幼生、コペポディド幼生、ヒゲナガケンミジンコ目、ケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は59.1個体/Lで、ゾウミジンコ、カブトミジンコが確認された。肉質虫類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2021年7月21日）

第1 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2 優占種	ワムシ類	<i>synchaeta</i> (ドロワムシ属)

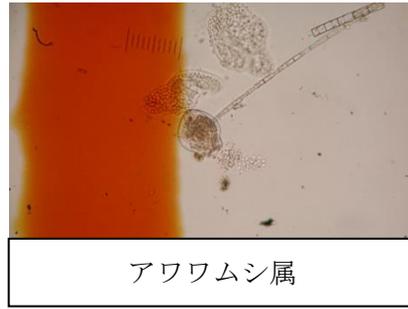


○8月23日

動物プランクトンの総数は209.9個体/Lであった。繊毛虫類の個体数は10.2個体/Lで、コドネラ属が確認された。肉質虫類の個体数は6.1個体/Lで、太陽虫類が確認された。ワムシ類の個体数は159.0個体/Lであった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、アワワムシ属、ツボワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は30.6個体/Lで、ノープリウス幼生、コペポディド幼生、ヒゲナガケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は4.1個体/Lで、ゾウミジンコが確認された。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2021年8月23日）

第1 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2 優占種	ワムシ類	<i>Pompholyx</i> (アワワムシ属)

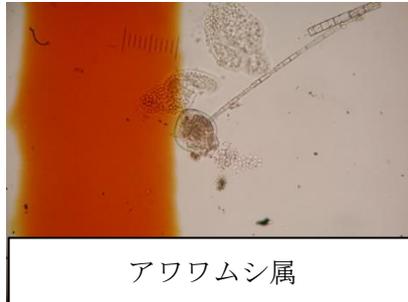


○9月27日

動物プランクトンの総数は 2038.2 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 10.2 個体/L で、チンチニディウム属およびエピスティリス属が確認された。肉質虫類の個体数は 8.2 個体/L で、ナベカムリ属、ツボカムリ属、太陽虫綱が確認された。ワムシ類の個体数は 2001.5 個体/L であった。内、個体数の多い種はカメノコウワムシ属、ハネウデワムシ属、ツボワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 6.1 個体/L で、ヒゲナガケンミジンコ目、ケンミジンコ目、コペポディド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は 12.2 個体/L で、ゾウミジンコ、ニセゾウミジンコ、ゾウミジンコモドキが確認された。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2021年9月27日)

第1 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2 優占種	ワムシ類	<i>Pompholyx</i> (アワワムシ属)



○10月25日

動物プランクトンの総数は 356.7 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 22.4 個体/L で、チンチニディウム属が確認された。肉質虫類の個体数は 12.2 個体/L で、太陽虫類が確認された。ワムシ類の個体数は 159.0 個体/L で、ハネウデワムシ属、ネズミワムシ属が確認された。カイアシ類の個体数は 36.7 個体/L で、ノープリウス幼生、ヒゲナガケンミジンコ目、ケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は 126.4 個体/L で、ゾウミジンコ、オナガミジンコが確認された。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2021年10月25日)

第1 優占種	ミジンコ類	<i>Bosmina</i> (ゾウミジンコ属)
第2 優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)



ゾウミジンコ属



ハネウデワムシ属

○11月29日

動物プランクトンの総数は627.8個体/Lであった。繊毛虫類の個体数は89.7個体/Lで、コドネラ属、チンチニディウム属が確認された。肉質虫類の個体数は22.4個体/Lで、ツボカムリ、太陽虫類が確認された。ワムシ類の個体数は366.9個体/Lであった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ネズミワムシ属が確認された。カイアシ類の個体数は75.4個体/Lで、ノープリウス幼生、ケンミジンコ目、コペポディド幼生、ヒゲナガケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は73.4個体/Lで、ゾウミジンコが確認された。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2021年11月29日）

第1優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2優占種	ミジンコ類	<i>Bosmina</i> (ゾウミジンコ属)



ハネウデワムシ属



ゾウミジンコ属

○12月15日

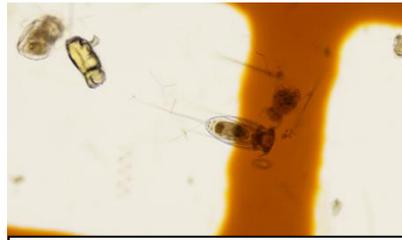
動物プランクトンの総数は175.3個体/Lであった。繊毛虫類の個体数は22.4個体/Lで、コドネラ属、チンチニディウム属が確認された。肉質虫類の個体数は2.0個体/Lで、ツボカムリが確認された。ワムシ類の個体数は59.1個体/Lであった。内、個体数の多い種はミツウデワムシ属、ハネウデワムシ属が確認された。カイアシ類の個体数は53.0個体/Lで、ノープリウス幼生、ケンミジンコ目、コペポディド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は38.7個体/Lで、ゾウミジンコが確認された。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2021年12月15日）

第1優占種	ミジンコ類	<i>Bosmina</i> (ゾウミジンコ属)
第2優占種	ワムシ類	<i>Filinia</i> (ミツウデワムシ属)



ゾウミジンコ属



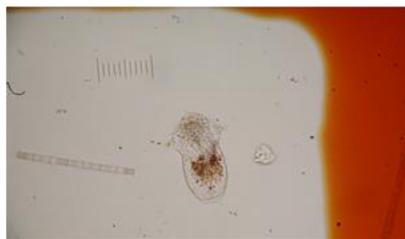
ミツウデワムシ属

○2月25日

動物プランクトンの総数は 849.9 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 6.1 個体/L で、チンチニディウム属が確認された。ワムシ類の個体数は 813.2 個体/L であった。内、個体数の多い種はドロワムシ属、ハネウデワムシ属が確認された。カイアシ類の個体数は 30.6 個体/L で、ノープリウス幼生が確認された。肉質虫類およびミジンコ類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2022年2月25日）

第1優占種	ワムシ類	<i>Synchaeta</i> (ドロワムシ属)
第2優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)



ドロワムシ属



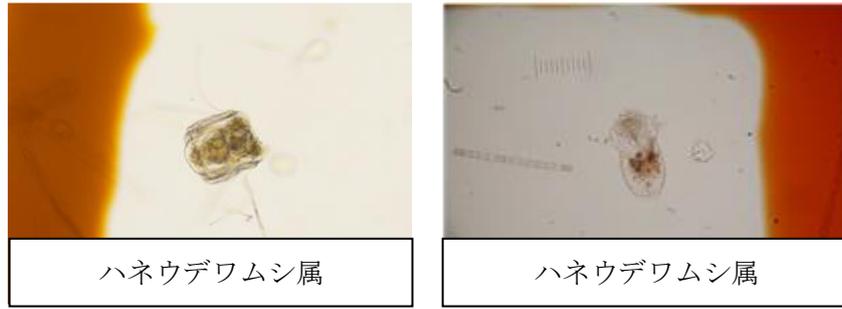
ハネウデワムシ属

○3月19日

動物プランクトンの総数は 996.7 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 53.0 個体/L で、チンチニディウム属が確認された。ワムシ類の個体数は 900.9 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ドロワムシ属、カメノコウワムシ属が確認された。カイアシ類の個体数は 42.8 個体/L で、ノープリウス幼生、コペポディド幼生が確認された。肉質虫類およびミジンコ類は確認されなかった。

観察された主な動物プランクトン（採水日 2022年3月17日）

第1優占種	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)
第2優占種	ワムシ類	<i>Synchaeta</i> (ドロワムシ属)



2.2.3.2. 今年度の個体数推移と過去との比較

今年度の動物プランクトンの個体数推移を図1に示した。年間を通してワムシ類が多く、ワムシ類の個体数変化によって、動物プランクトン総数（以下、総数）も左右されていた。総数は5月下旬から6月下旬にかけて急増、6月下旬から7月下旬まで微増した後、8月下旬まで急激に減少し、9月下旬から12月下旬にかけて増減を繰り返し、2月下旬以降、3月中旬まで増加した。なお、1月は湖面結氷の欠測となった。

令和元年度および令和2年度の動物プランクトンの個体数をそれぞれ図2、図3に示した。3年間の共通した特徴として、総数に占めるワムシ類の割合が年間を通して高いことが挙げられる。特に令和2年度は年間を通してワムシ類が多かった。この年はワカサギの資源尾数が多く、トップダウン効果（ワカサギの捕食圧増大→カイアシ、ミジンコ減少→ワムシ類増加）が要因と考えられる。令和3年度は令和元年度および令和2年度と比較して動物プランクトン量が年間を通して低い値で推移し、明瞭なピークが見られなかった。その要因として、令和3年度の年間を通じた植物プランクトン量も令和元年および令和2年度と比較して個体数が低い値であり、動物プランクトンの餌となる植物プランクトンが少なかったためと考えられる。

また、例年5月から6月にかけてワカサギの餌として重要なミジンコ類（ゾウミジンコ）が急増するが、今年度は令和2年度と同様に4月には既に増加しており、長期間発生が続いた。加えて、今年度も5月下旬から6月下旬にかけて甲殻類のカブトミジンコが多く出現したことにより、諏訪湖内の透明度が5月下旬には4mまで上昇し、それ以降も6月上旬にかけて2.5m程度の高い透明度で推移した。

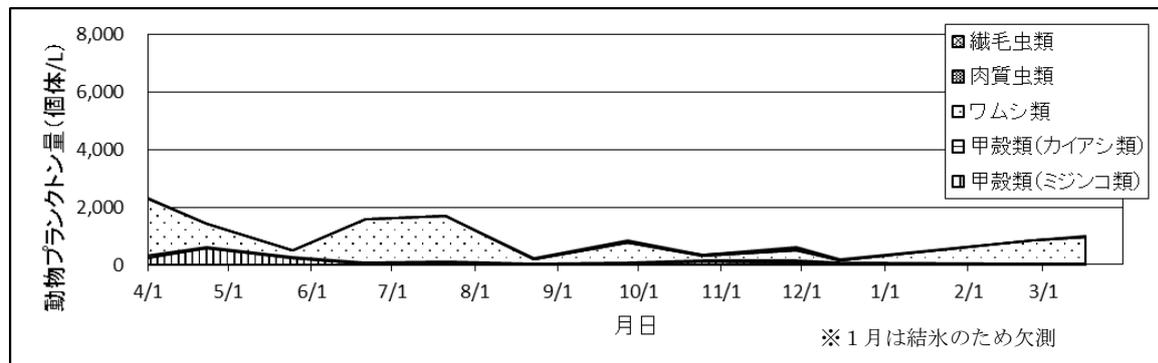


図1 令和3年度の動物プランクトンの個体数

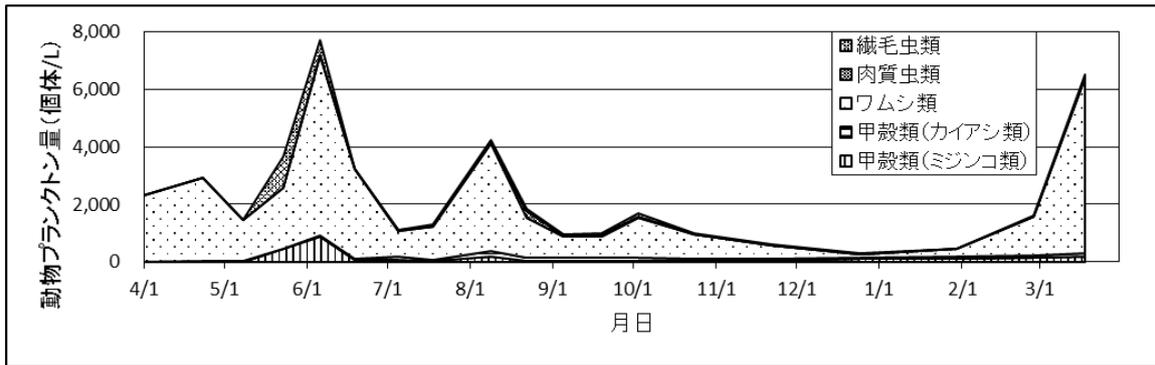


図2 令和元年度の動物プランクトンの個体数

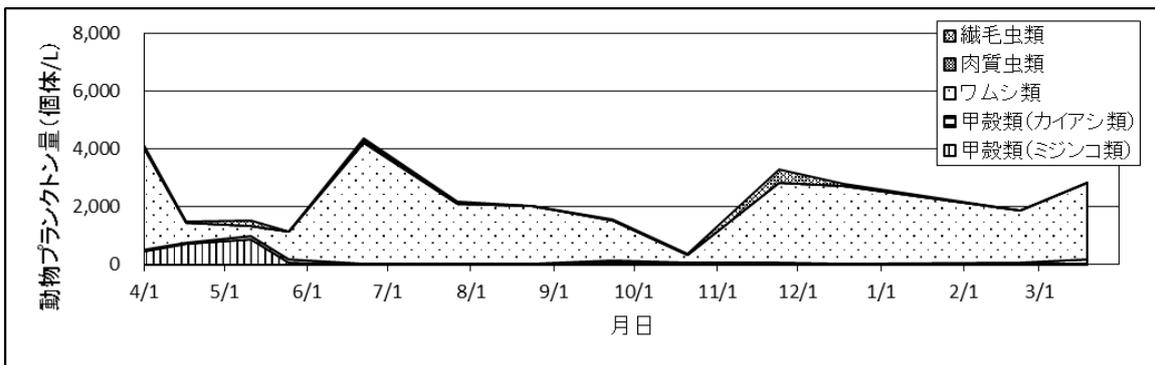


図3 令和2年度の動物プランクトンの総数

2.2.4. まとめ

- ・今年度の動物プランクトンは、年間を通してワムシ類が多くなっていた。ワムシ類の個体数変化によって、動物プランクトン総数も左右されていた。この傾向は3年間で共通していた。
- ・動物プランクトン総数は、7月下旬に増加したが明瞭なピークは見られなかった。令和元年度および令和2年度における動物プランクトンのピーク時期は、それぞれ10月下旬および5月下旬で、各年で異なっていた。

第3章 覆砂場所のモニタリング調査

3.1. 水質調査

環境保全研究所水・土壌環境部

3.1.1. 調査目的

沿岸に造成した覆砂試験ヤードを活用して、覆砂によるシジミ等に及ぼす影響調査として、試験区及びその周辺において水質の状況を調査し、覆砂による環境改善効果を把握することを目的とした。

3.1.2. 調査内容

3.1.2.1. 調査地点

調査地点を表1、図1に示す。湖岸通り区（諏訪日赤前）は、平成28年度に覆砂した試験区内の地点③及び比較対照として試験区外側の地点⑥を調査地点とした。高木沖（高木運動公園前）は、令和元年度～令和2年度に覆砂した試験区内の地点⑦及び比較対照として試験区外側の地点⑧を調査地点とした。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)*	底質	備考
湖岸通り区	③	試験区	試験区内・岸から25m	0.8	砂	H28覆砂実施
	⑥	対照区	岸から130m	1.6	泥	
高木沖	⑦	試験区	試験区内・岸から28m	1.9	砂泥	R1-R2覆砂実施
	⑧	対照区	岸から28m、⑦から75m	1.8	泥	

※水深は水質調査日に測定した平均値

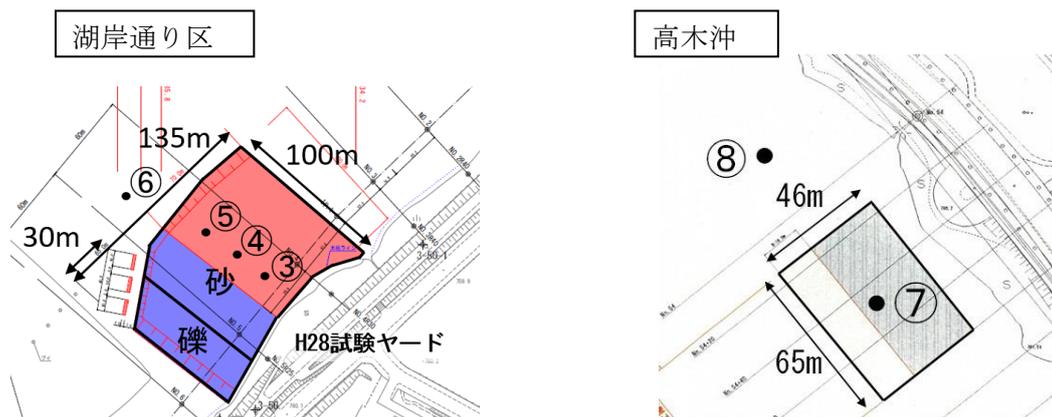


図1 調査地点図

3.1.2.2. 調査日

6月15日、8月5日、11月16日

3.1.2.3. 採水深度・採水方法

湖底から 20 cm 上の湖水（以下「底層水」という。）を採取し、調査対象とした。

採水方法について、スライダックで水中ポンプ（RYOBI 製 RMG-3000）の流量を調節し、底泥を巻き上げない程度にゆっくりとした速度（20 mL/s 程度）でポリバケツに十分な量を採水し、攪拌混合した後、ポリ瓶に移し入れ試料とした。

3.1.2.4. 測定項目及び分析方法

測定項目及び分析方法を表 2 に示す。なお、溶存態成分はガラス繊維ろ紙 GF/B でろ過したろ液を用いて測定した。

表 2 水質分析方法

項目	分析方法
水温	サーミスター温度計（JIS K0102 7.2）
水素イオン濃度（pH）	ガラス電極法（JIS K0102 12.1）
電気伝導率（EC）	電気伝導率計（JIS K0102 13）
酸化還元電位（ORP）	酸化還元電位計
透明度	透明度法（上水試験法 II-3-5）
透視度	透視度計（JIS K0102 9）
溶存酸素（DO）	よう素滴定法（JIS K0102 32.1）
浮遊物質（SS）	環境庁告示第59号付表9
化学的酸素要求量（COD）	過マンガン酸カリウム法（JIS K0102 17）
溶解性化学的酸素要求量（D-COD）	過マンガン酸カリウム法（JIS K0102 17）
全窒素（T-N）	紫外線吸光光度法（JIS K0102 45.2）
溶解性窒素（D-T-N）	紫外線吸光光度法（JIS K0102 45.2）
アンモニア性窒素（NH ₄ -N）	インドフェノール青吸光光度法（上水試験法 III-2 8.4）
亜硝酸性窒素（NO ₂ -N）	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法（JIS K0102 43.1.1）
硝酸性窒素（NO ₃ -N）	イオンクロマトグラフ法（JIS K0102 43.2.5）
全りん（T-P）	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法（JIS K0102 46.3.1）
溶解性りん（D-T-P）	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法（JIS K0102 46.3.1）
りん酸態りん（PO ₄ -P）	モリブデン青吸光光度法（JIS K0102 46.1.1）
有機体炭素（TOC）	紫外線酸化-ガス透過膜式電気伝導率測定法（JIS K0102 22.1 備考2.）
溶存有機体炭素（DOC）	紫外線酸化-ガス透過膜式電気伝導率測定法（JIS K0102 22.1 備考2.）
クロロフィルa	メタノール抽出-蛍光光度法（樋口ほか(1995)※）

※樋口ほか(1995),メタノール抽出法による水中のクロロフィル a の測定,長野県衛生公害研究所研究報告, No.18,43-48

3.1.3. 調査結果及び考察

3.1.3.1 湖岸通り区（地点③、⑥）

平成 28 年度に覆砂した試験区の地点③について、対照区の地点⑥と比較して覆砂による水質へ

の影響を調査した。底層水の測定項目別の測定結果を図 2 に、地点毎の底層水と表層水の濃度差を図 4 に示す。

<窒素>

湖岸通り区の底層水の各態窒素について、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)濃度は 8、11 月に対照区⑥に比べて試験区③の方がそれぞれ 0.02、0.04 mg/L 低く、亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)濃度は 8 月に試験区の方が 0.003 mg/L 低く、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度は 6、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 0.15、0.12、0.16 mg/L 低かった。無機態窒素(DIN)濃度は 6、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 0.16、0.15、0.19 mg/L 低く、溶解性窒素(DTN)濃度についても同様の傾向が見られた。また、全窒素(TN)濃度は 6、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 0.23、0.12、0.15 mg/L 低かった。このように窒素項目全般に試験区の方が対照区より濃度が低く、試験区において覆砂により底泥からのアンモニア性窒素の溶出が抑制され、アンモニア性窒素と硝酸性窒素の濃度が低下し、無機態窒素や全窒素の濃度に影響していた。

さらに、調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差(底層水の測定値－表層水の測定値)を比較すると(図 4)、試験区における各成分の鉛直方向の濃度差は小さいが、対照区では 6、8、11 月に全窒素、溶解性窒素、無機態窒素、硝酸性窒素について表層水より底層水の方が顕著に濃度が高く(濃度差 0.15～0.3 mg/L 程度：底層水の調査地点間の水平方向の濃度差と同程度)、浮遊物質(SS)濃度についても同様の傾向が見られた。対照区において底泥から底層水への窒素成分の供給(底泥溶出等)による影響が考えられるが、底泥からの栄養塩の溶出による植物プランクトンの増殖、デトリタスの沈降、底泥の巻き上げ等による複数の要因による影響も可能性として考えられる。

<りん>

洪崎区の底層水のりん酸態りん($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度は、6、11 月に対照区に比べて試験区の方がそれぞれ 0.003、0.003 mg/L 低かった。覆砂により底泥からのりん酸態りんの溶出が抑制された可能性が考えられる。全りん(TP)濃度は、6、8 月に試験区の方がそれぞれ 0.031、0.12 mg/L 低く、溶解成分以外を懸濁成分として計算すると、試験区の懸濁態りん濃度(TP－DTP：全りに占める割合 6～9 割)が同程度低下していた。また、懸濁態成分と関係する SS 濃度は、6、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 4、4、3 mg/L 低かった。

さらに、調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差を比較すると、試験区における各成分の鉛直方向の濃度差は小さいが、対照区では 6、8 月に全りんについて表層水より底層水の方が顕著に濃度が高く(濃度差 0.04～0.1 mg/L 程度：調査地点間の水平方向の濃度差と同程度)、SS についても同様の傾向であった。このように試験区の底層水の方が懸濁物質に関する項目の濃度が低いことは、覆砂による底泥の巻き上げの抑制、植物プランクトンの発生抑制(デトリタスの沈降)等の複数の要因が可能性として挙げられる。

<溶存酸素(DO)>

底層水の溶存酸素(DO)濃度は、各調査日時(9～12 時)において試験区で 10mg/L 程度であり、対照区では 8 月調査日に試験区より 2.2 mg/L 低かった。また、試験区における底層水と表層水の鉛直方向の濃度差は見られなかったが、対照区では 8 月に鉛直方向に底層水の方が 4 mg/L 程

度低く（水平方向の濃度差と同程度）、底泥の酸素消費速度の違いが影響している可能性が考えられる。ただし、調査エリア内で繁茂する沈水植物による影響や沿岸域で水深が浅いことの影響も考えられる。

<水生植物の状況>

8月の調査日(8/5)において、試験区ではクロモの群落を観察され、対照区ではクロモの繁茂が観察された。また、6月、11月の調査日において水生植物は観察されなかった。このように、試験区周辺では岸側東西方向にヒシが繁茂する一帯であるが、試験区内ではヒシが繁茂せずに沈水植物の群落が見られており、覆砂によるヒシの繁茂抑制効果が継続していることが確認された。

3.1.3.2 高木沖(地点⑦、⑧)

令和元年～2年度に覆砂した試験区の地点⑦について、対照区の地点⑧と比較して覆砂による水質への影響を調査した。底層水の測定項目別の測定結果を図3に、地点毎の底層水と表層水の濃度差を図5に、表層水の測定結果を図6に示す。

<窒素>

高木沖の底層水の各態窒素について、アンモニア性窒素濃度、亜硝酸性窒素濃度、硝酸性窒素濃度は、試験区と対照区を比較して調査地点間の濃度差に一定の傾向が見られなかった。無機態窒素濃度、溶解性窒素濃度、全窒素濃度は6月に試験区の方が低く(TN：差0.13 mg/L)、8月に試験区の方が高く(TN：差0.18 mg/L)、一定の傾向が見られなかった。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差（底層水の測定値－表層水の測定値）を比較すると(図5)、3.1.3.1項(湖岸通り区)の測定結果とは傾向が異なり、試験区では8月に全窒素、溶解性窒素、無機態窒素、硝酸性窒素、アンモニア性窒素について表層水より底層水の方が顕著に濃度が高く(濃度差0.1～0.3 mg/L程度)、6、11月は全窒素の濃度が高く(濃度差0.1 mg/L程度)、浮遊物質(SS)濃度については6、8、11月に高い傾向(濃度差7～12 mg/L程度)が見られた。一方、対照区では、8月の全窒素について、底層水より表層水の方が顕著に濃度が高く(濃度差-0.7 mg/L程度)、SS濃度についても同様に8月に高い傾向(濃度差-11 mg/L程度)が見られた。

湖岸通り区や過年度調査結果と傾向が異なるため、さらに表層水の測定結果を比較すると(図6)、全窒素濃度は6、8月に対照区⑧に比べて試験区⑦の方がそれぞれ0.31、0.82 mg/L低く(懸濁態窒素も同様の傾向)、他の窒素項目については濃度差が見られなかった。また、クロロフィルa濃度は6、8月に試験区の方がそれぞれ12、62 µg/L低く、8月の対照区ではpH、DOの上昇が見られた(植物プランクトンの光合成の影響)。SS濃度は6、8月に試験区の方がそれぞれ3、12 mg/L低く、透視度は8月に51 cm高い。全有機炭素(TOC)濃度は6、8月に試験区の方がそれぞれ0.41、1.9 mg/L低かった。また、調査地点の表層水と底層水の平均値で比較すると、8月を中心に全窒素、TOC、クロロフィルa、SS濃度は試験区の方が低かった。

このように、対照区において6、8月に懸濁物質、有機物に関係する項目やクロロフィルa濃度が高いことは、底泥からの栄養塩の溶出・供給による植物プランクトンの増殖、ヒシ繁茂による水流の阻害等の要因による影響が考えられ、試験区では覆砂によりこれらの影響が抑制されていたと考えられる。

<りん>

高木沖の底層水のりん酸態りん(PO₄-P)濃度は、試験区と対照区を比較して調査地点間の濃度差が見られなかった。全りん(TP)濃度は、6月に試験区の方が低く(差 0.007 mg/L)、8、11月に試験区の方が高く(差 0.018、0.008 mg/L)、一定の傾向が見られなかった。溶解成分以外を懸濁成分として計算すると、試験区の懸濁態りん濃度 (TP-DTP : 全りに占める割合 6~9割) が同様の傾向であり、SS 濃度は8、11月に試験区の方が 6 mg/L 高かった。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差を比較すると(図 5)、3.1.3.1 項(湖岸通り区)の測定結果とは傾向が異なり、試験区では6、8、11月に全りんについて表層水より底層水の方が濃度が高く(差 0.02~0.04 mg/L 程度)、SS 濃度については6、8、11月に高い傾向(差 7~12 mg/L 程度)が見られた。一方、対照区では、8月の全りんについて、底層水より表層水の方が顕著に濃度が高く(差 -0.08 mg/L 程度)、SS 濃度についても同様に8月に高い傾向(差 -11 mg/L 程度)が見られた。

湖岸通り区や過年度調査結果と傾向が異なるため、さらに表層水の測定結果を比較すると(図 6)、全りん濃度は6、8月に対照区に比べて試験区の方がそれぞれ 0.033、0.10 mg/L 低く、懸濁態りんも同様の傾向であった。また、前述のとおり、クロロフィル a、SS 等の濃度は6、8月に試験区の方が低く、また、調査地点の表層水と底層水の平均値で比較すると、6、8月に全りん、懸濁態りん、クロロフィル a 等の濃度は試験区の方が低かった。このように、対照区において6、8月に全りん等の濃度が高いことは、底泥からの栄養塩の溶出・供給による植物プランクトンの増殖、ヒシ繁茂による水流の阻害等の要因による影響が考えられる。また、試験区では覆砂によりこれらの影響が抑制されていたと考えられる。

<溶存酸素(DO)>

底層水の DO 濃度は、各調査日時(9~12時)において、6月に試験区より対照区の方が 4.5 mg/L 低く、対照区では貧酸素状態(DO<4 mg/L)となっていた。8月に対照区の方が 1.2 mg/L 低く、対照区及び試験区で貧酸素状態となっていた。11月は両地点とも 10 mg/L 程度であった。また、底層水と表層水の鉛直方向の濃度差について、6月に対照区で底層水の方が 5 mg/L 程度低く、8月に両地点で底層水の方がそれぞれ 9、13 mg/L 程度低かった。

このように対照区の方が DO が低い傾向が見られたことは、底泥の酸素消費速度の違い(3.2.3.3. 項参照)、調査エリア内で繁茂する沈水植物の違い(ヒシ繁茂による水流の阻害、水中照度の減少等)などが影響している可能性が考えられる。

<水生植物の状況>

6月調査日に試験区でヒシが数株、対照区でヒシの繁茂が観察された。8月調査日に試験区でクロモの繁茂、対照区でヒシの繁茂が観察された。11月調査日に水生植物は観察されなかった。このように、試験区及び対照区の周辺はヒシが高密度に繁茂する一帯であるが、試験区内ではヒシが繁茂せずにクロモが繁茂しており、覆砂によるヒシの繁茂抑制効果が見られた。

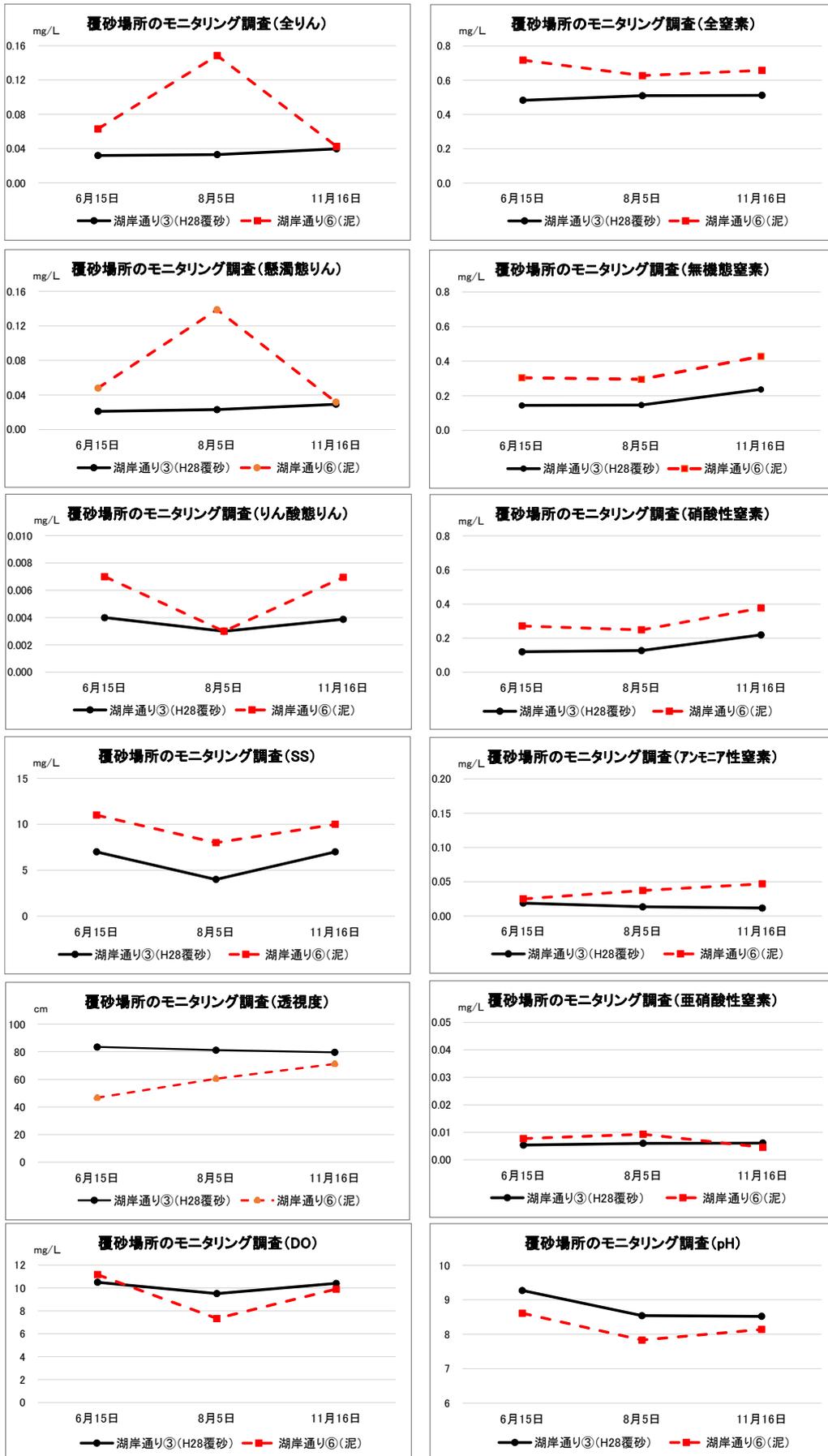


図2 湖岸通り区における水質測定結果 (底層水)

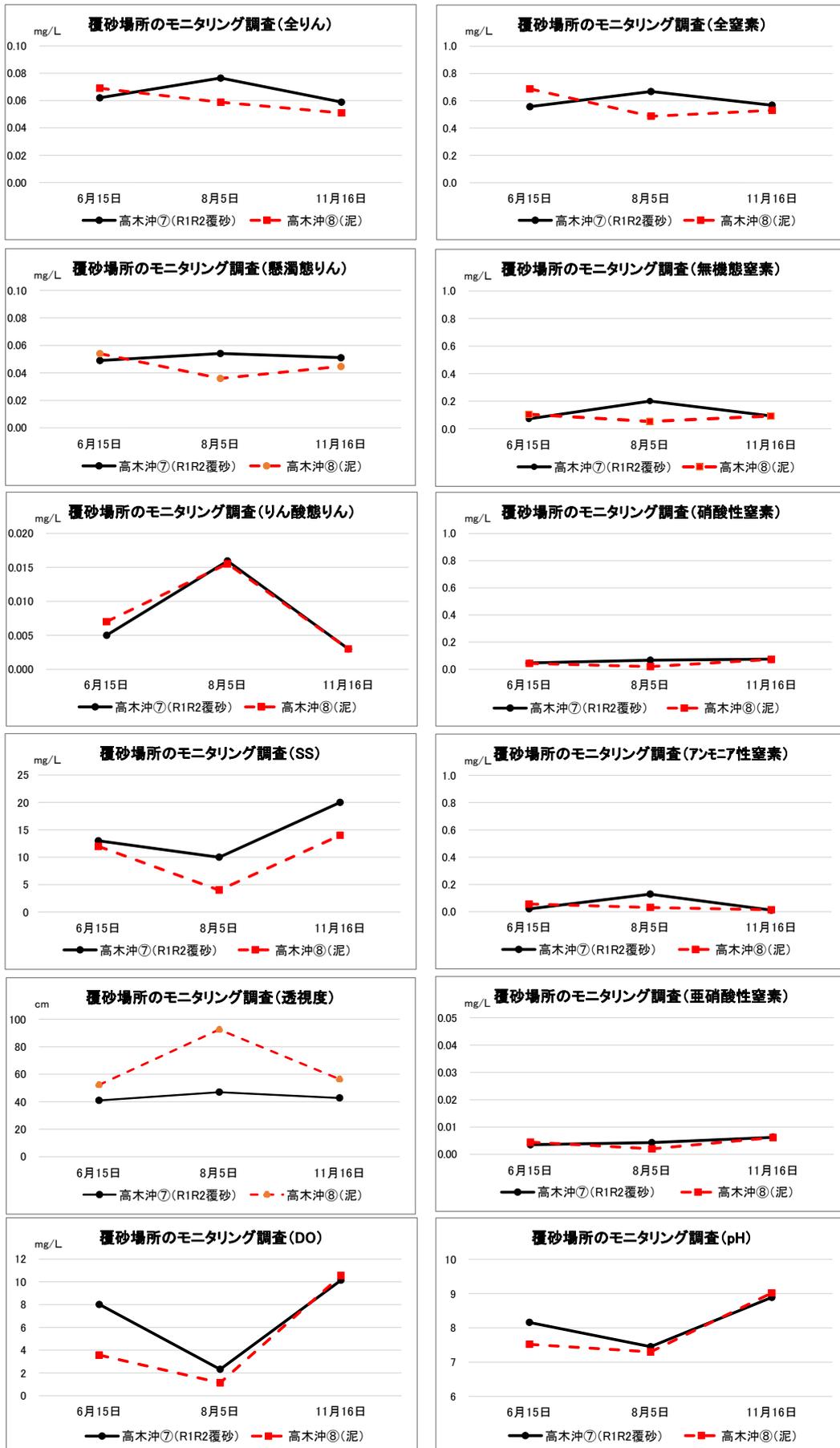


図3 高木沖における水質測定結果（底層水）

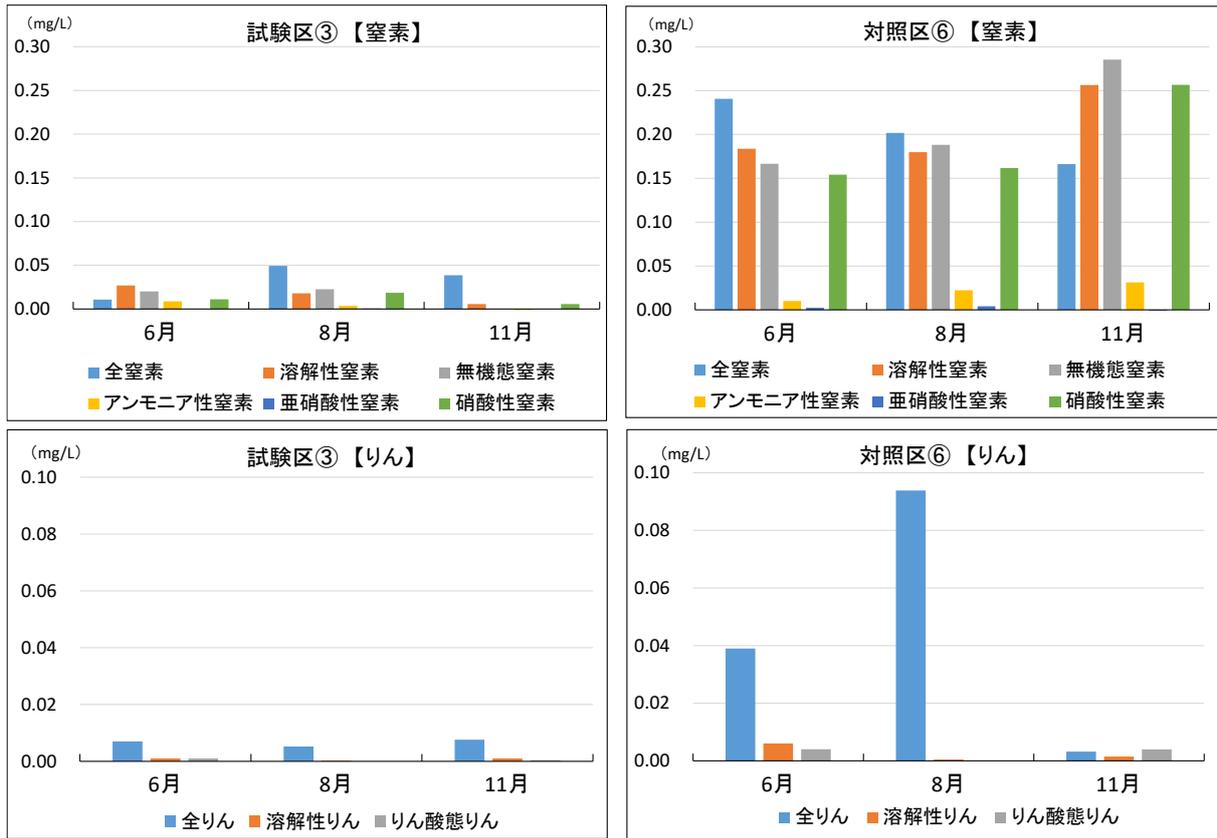


図4 地点毎の底層水と表層水の濃度差【湖岸通り区】(上段：窒素、下段：りん)
(縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値)

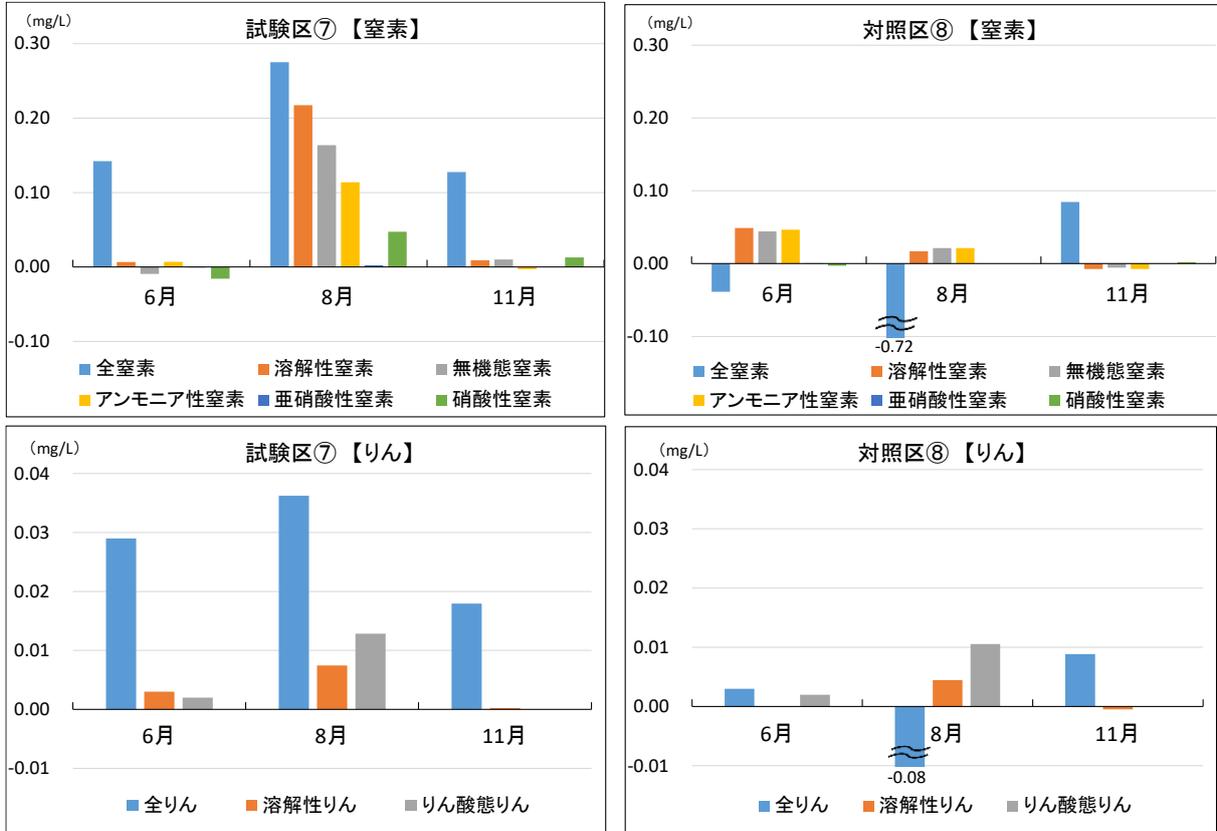


図5 地点毎の底層水と表層水の濃度差【高木沖】(上段：窒素、下段：りん)
(縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値)

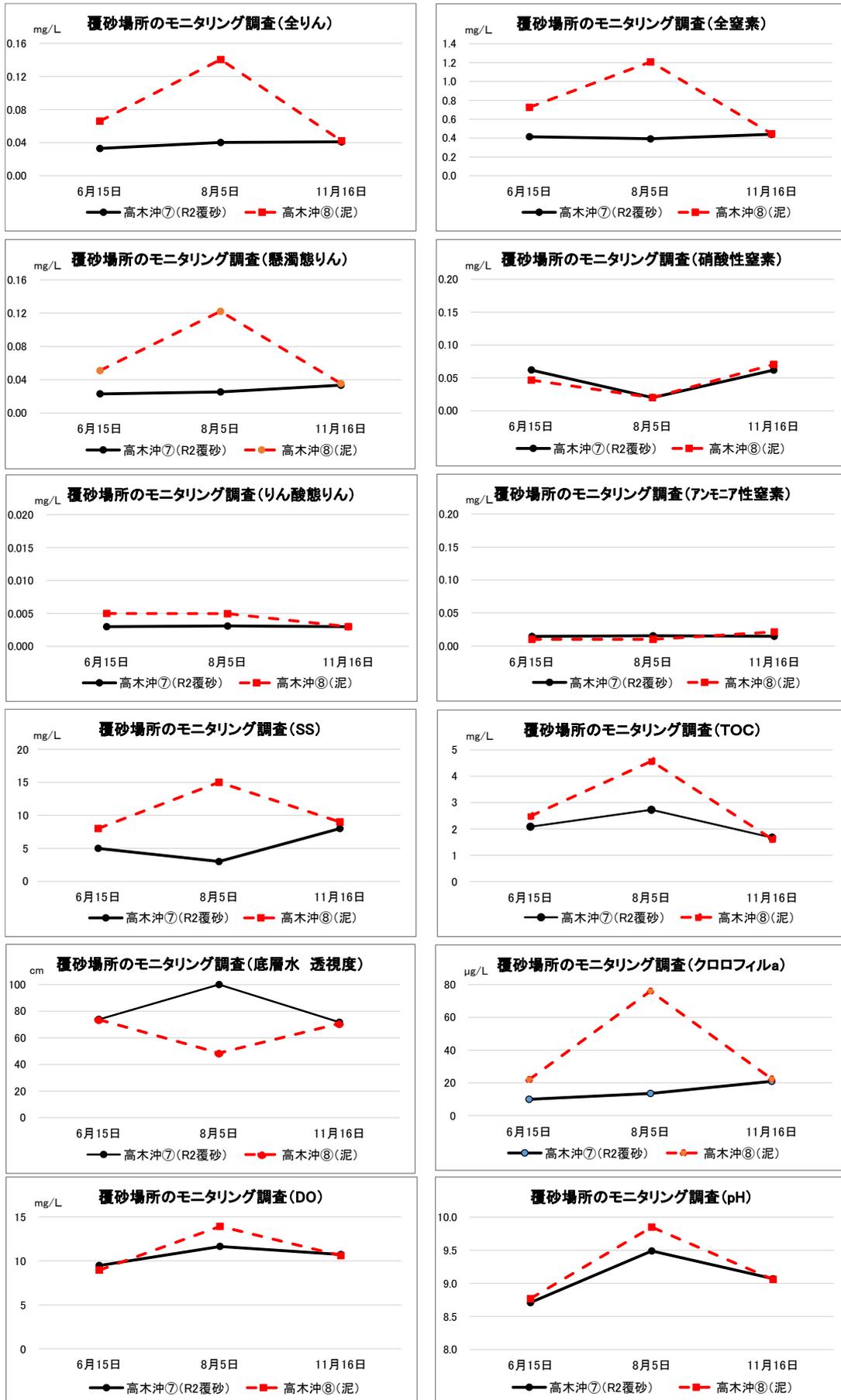


図6 高木沖における水質測定結果 (表層水)

3.1.4. まとめ

覆砂による水質への影響について、2地区で調査を実施した。

湖岸通り区について、調査地点における底層水のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全窒素等の濃度は、一般的に対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られた。試験区と対照区の底層水について、試験区で底泥からのアンモニア性窒素の溶出が抑制され、また硝酸性窒素の濃度が栄養塩である無機態窒素や環境基準である全窒素の濃度に影響し、覆砂による水質改善効果として現れたものと考えられる。

りん酸態りん、全りん等の濃度は、一般的に対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られ、特に夏季(8月)の全りんはその傾向が顕著であった。覆砂による水質改善効果として、試験区で底泥からのりん酸態りんの溶出が抑制された可能性が考えられ、また、試験区の方が全りん等の懸濁物質に関係する項目の濃度が低いことから、底泥の巻き上げ抑制や植物プランクトンの発生抑制等の要因が可能性として挙げられる。

また、上述のとおり調査地点間(底層水)の水平方向に栄養塩類等の濃度差を生じ、さらに各調査地点における表層水と底層水の鉛直方向の濃度差から、覆砂試験区と対照区の底質が底層水に与える影響の違いが確認された。この傾向について、覆砂による栄養塩類の底泥溶出の抑制、植物プランクトンの増殖抑制や死滅によるデトリタスの沈降・堆積、底泥の巻き上げ抑制等による影響が可能性として挙げられるが、今後その要因を検討するため、底泥溶出量、懸濁粒子の沈降量、底泥からの巻き上げ量等の実態を調査していく必要があると考える。

高木沖について、今回初めて調査を実施したところ、窒素項目、りん項目で、底層水の調査地点間の水平方向の濃度差に一定の傾向が見られなかった。このため、表層水も含めて比較すると、全窒素(懸濁態窒素)、全りん(懸濁態りん)、TOC、SS、クロロフィル a 等で、表層水濃度及び表層水と底層水の濃度平均値について、対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られ、特に夏季(8月)に顕著であった。対照区において、底泥からの栄養塩類の溶出・供給による植物プランクトンの増殖、ヒシ繁茂による水流の阻害等の要因による影響が考えられ、試験区では覆砂によりこれらの影響が抑制されていたと考えられる。なお、今回、覆砂後1年程度経過した状況での調査であるため、今後の継続した調査により経年変化を把握していく必要がある。また、地点間で水生植物の繁茂状況が異なり、他の調査地区とは上下層の傾向が異なるため、水質への影響を適切に評価するためには、今後、全層的な比較等(中間層や全層水の採水等)も検討する必要があると考える。

溶存酸素濃度については、両地区で夏季を中心に対照区の方が低く、覆砂による底泥の酸素消費速度の違いが影響している可能性が考えられるが、各地点における水生植物の有無、繁茂状況の違いによる影響や沿岸域で水深が浅いことの影響も考えられる。高木沖における底泥の酸素消費速度については、後記「3.2. 底質調査」の項において考察するが、今後も底泥の酸素消費速度調査を実施して覆砂による改善効果をさらに検証する必要がある。

過去の調査との比較(湖岸通り区)について、R3年度の気象条件は、年平均気温が比較的高く夏季に記録的な大雨となり諏訪地域で2度の大雨災害が発生した。底泥からの汚濁物質の溶出量に影響すると考えられる底層水水温は、猛暑であったH30より8月調査日で2℃程度低かったが(8月採水日・対照区⑥底層水温平均 H30: 28.2℃、R1: 24.4℃、R2: 23.8℃、R3: 25.8℃)、試験区と対照区の濃度差は項目により違いがあるが、H30と概ね同様の傾向が確認された。

3.2. 底質調査

環境保全研究所水・土壌環境部

3.2.1. 調査目的

沿岸に造成した覆砂試験ヤードを活用し、覆砂によるシジミ等に及ぼす影響調査として、試験区及びその周辺において底質の状況を調査し、覆砂による環境改善効果を把握することを目的とした。

3.2.2. 調査内容

3.2.2.1. 調査地点

調査地点を表1、図1に示す。湖岸通り区（諏訪日赤前）は、平成28年度に覆砂した試験区内の地点③及び比較対照として試験区外側の地点⑥を調査地点とした。高木沖（高木運動公園前）は、令和元年度～令和2年度に覆砂した試験区内の地点⑦及び比較対照として試験区外側の地点⑧を調査地点とした。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)	底質	備考
湖岸通り区	③	試験区	試験区内・岸から25m	0.8	砂	H28覆砂実施
	⑥	対照区	岸から130m	1.6	泥	
高木沖	⑦	試験区	試験区内・岸から28m	1.9	砂泥	R1-R2覆砂実施
	⑧	対照区	岸から28m、⑦から75m	1.8	泥	

※水深は底質調査日に測定した平均値。

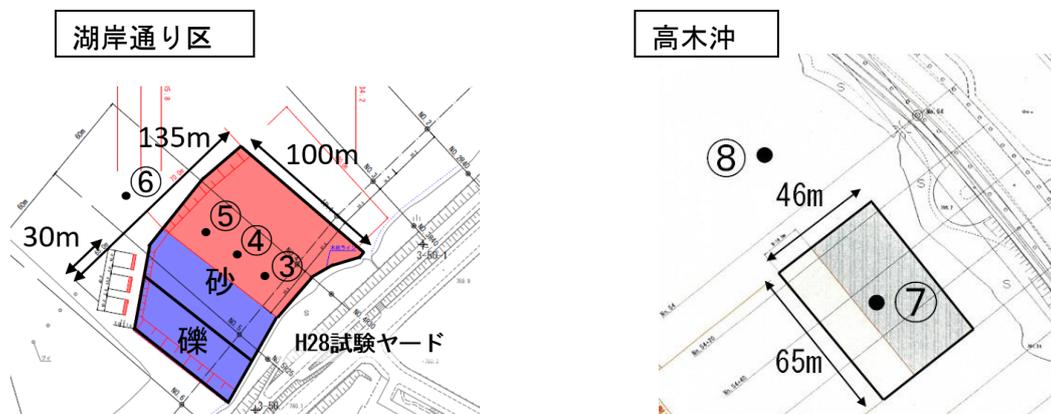


図1 調査地点図

3.2.2.2. 調査日

底質中の栄養塩含有量等の底質性状調査及び底泥酸素消費速度調査の採泥日は以下のとおり。

- 底質性状調査：春期 6/29、秋期 11/9、11/24
- 底泥酸素消費速度調査：夏期 7/20、7/29、秋期 10/24

3.2.2.3. 採泥方法

強熱減量、全窒素及び全りん測定用試料は、調査地点ごとにエクマンバージ型採泥器で3回採取し、ステンレス製バット中で混合した後、2 mm ふるいで小石などの異物を除いたものをガラス瓶(1 L)に採取した。

全硫化物及び粒度分布測定用試料は、エクマンバージ型採泥器でポリエチレン製容器(12L)に3回採取し、試料とした。

底泥酸素消費速度試験用試料は、底泥表面を乱さずに採泥可能な不攪乱柱状採泥器(HR 型、離合社)を用いて、採泥用パイプ (アクリル円筒形：内径 11 cm、長さ 50 cm) に採泥厚 15 cm 程度になるよう底泥を採取し、直上水をカラム上部まで満たし上下をゴム栓で密閉した。各地点において6本程度の未攪乱底泥コアを採取し、氷冷して当所へ搬入した。

3.2.2.4. 測定項目及び分析方法

測定項目及び分析方法を表2に示す。

表2 底質分析方法

測定項目	分析方法
泥温	サーミスタ温度計
強熱減量	底質調査法 II 4.2
全窒素	底質調査法 II 4.8.1.1(中和滴定法)
全りん	底質調査法 II 4.9.1
粒度分布	4.75mm、2mm、425 μ m、75 μ mの試験ふるいによる分別
底泥酸素消費速度	底質調査方法 I 9 (詳細、以下参照)

<底泥酸素消費速度の測定方法>

測定方法は、環境省の底質調査方法(I 9)に準じて行い、また入江ら(2007)^{*}を参考とした。実験装置を以下に示す。採泥した底泥コアサンプルの直上水をアスピレーターでゆっくり排水した後、あらかじめ条件を整えた試験水を底泥が巻き上がらないようサイホンで静かに加えた。試験水として、各地点で採水した底層水をガラス繊維濾紙(Whatman GF/B)でろ過し、ばっ気により DO を概ね飽和状態にさせたものを用いた。試験水の表面からの酸素供給を遮断するために、少量の流動パラフィンで水表面を封じ、光学式溶存酸素計(WTW 社 Multi 3510 IDS)を用いて試験水の DO 経時変化を計測した(10 分間隔)。暗条件下で試験温度を 20°C 一定とするため、実験装置を恒温槽内に設置し、試験水の DO 濃度が均一になるよう攪拌器でゆっくり攪拌した。

^{*}入江政安、窪田勇輝、中辻啓二、西田修三(2007)：都市海浜における底質の非一様性を考慮した酸素消費量の推定、海岸工学論文集、第 54 巻

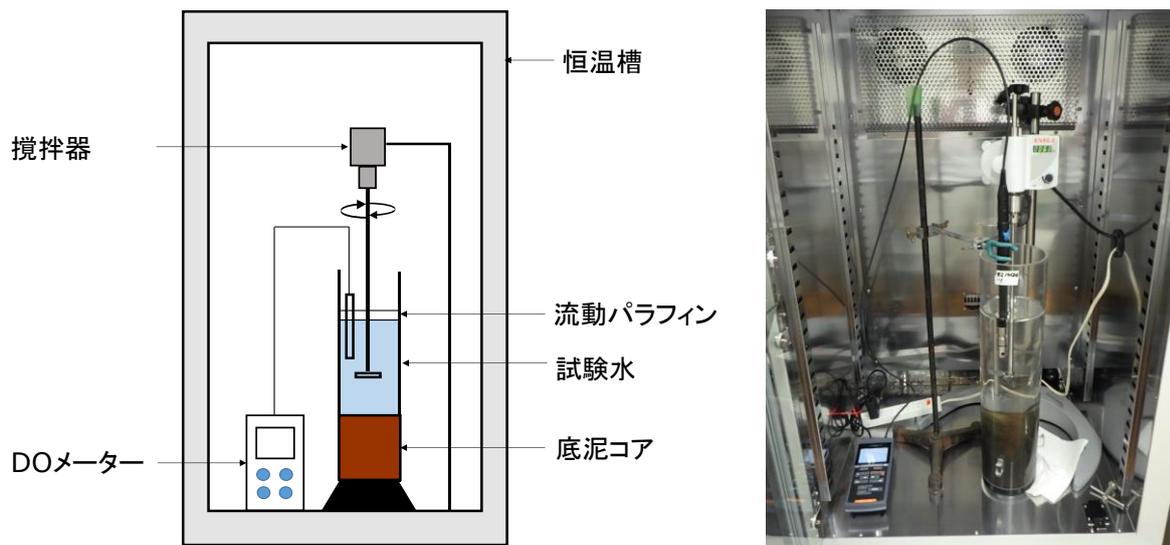


図2 底泥酸素消費速度 実験装置 (左：模式図、右：写真)

3.2.3. 調査結果

3.2.3.1. 湖岸通り区(地点③～⑥)

平成28年度に覆砂した試験区③について5年程度経過した状況について確認するとともに、対照区⑥と比較して覆砂による底質改善状況を確認した。なお、地点③は砂状、地点⑥は泥状であった。

<強熱減量>

測定結果を図3に、経年変化(年度別の平均値の推移)を図4に示す。

令和3年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点③の強熱減量(有機物含有量の目安)の値は1.8%であり、対照区の地点⑥の値(10.5～10.8%)と比べて平均9ポイント低かった(対⑥比17%)。また、試験区、対照区とも調査時期による差は見られなかった。

経年変化について、試験区③の強熱減量の年度別の平均値は、覆砂前(平成28年8月)は12%であったが覆砂後は2%程度に改善し、R3年度の値も2%程度を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は11～13%の範囲で推移しており、やや減少傾向が見られる。

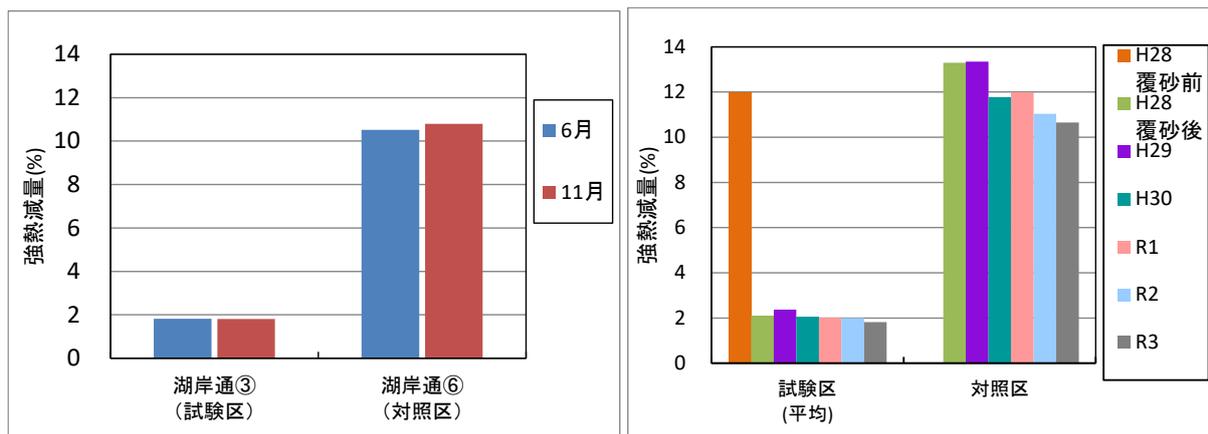


図3 強熱減量のR3年度測定結果【湖岸通り区】 図4 強熱減量の経年変化*【湖岸通り区】

※経年変化について、「試験区平均」は試験区内の複数の調査地点の平均値を示し、H28年度の数值はH28年度調査地点番号で試験区⑦～⑨及び対照区⑬の値を示した(以下、湖岸通り区のグラフについて同様)

<全窒素>

測定結果を図5に、経年変化を図6に示す。

測定結果について、覆砂した試験区③の全窒素濃度は0.19 mg/gであり、対照区⑥の濃度(2.45～2.75 mg/g)と比べて平均2.4 mg/g低かった(対⑥比7%)。また、試験区では調査時期による差は見られなかったが、対照区では5月に比べて12月の方が濃度が高くなっていた(+0.3 mg/g)。

経年変化について、試験区の全窒素濃度は、平成28年度の覆砂前が2.1 mg/gであったが覆砂後は地点毎の平均値で0.10～0.22 mg/gと低い値に改善され、H29、H30、R1、R2年度はそれぞれ0.13～0.29、0.22～0.34、0.16～0.23、2.46～2.84 mg/gであり、R3年度は0.19 mg/gと低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は2.6～3.4 mg/gの範囲で推移しており、やや減少傾向が見られる。

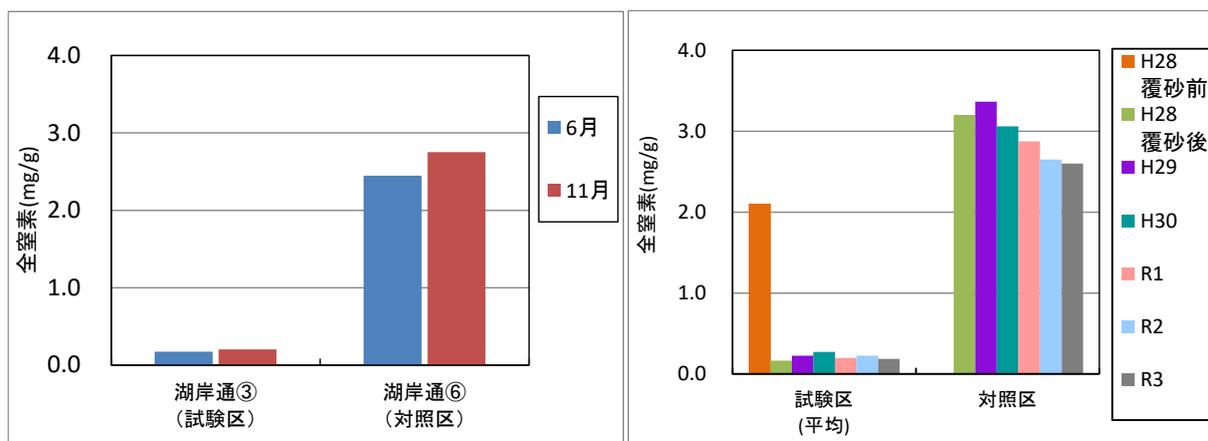


図5 全窒素のR3年度測定結果【湖岸通り区】

図6 全窒素の経年変化【湖岸通り区】

<全りん>

測定結果を図7に、経年変化を図8に示す。

測定結果について、覆砂した試験区の地点③の全りん濃度は0.31 mg/gであり、対照区⑥の濃度(1.20~1.30 mg/g)と比べて平均0.94 mg/g低かった(対⑥比25%)。また、試験区では調査時期による差は見られなかったが、対照区では6月に比べて11月の方が濃度が低くなっていた(差0.1 mg/g程度)。

経年変化について、試験区の全りん濃度は、平成28年度の覆砂前が1.2 mg/gであったが覆砂後は地点毎の平均値で0.58~0.63 mg/gと低い値に改善され、H29、H30、R1、R2年度はそれぞれ0.53~0.63、0.58~0.63、0.54~0.59、0.45~0.49 mg/gであり、R3年度は0.31 mg/gと低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は1.2~1.7 mg/gの範囲で推移しており、やや減少傾向が見られる。

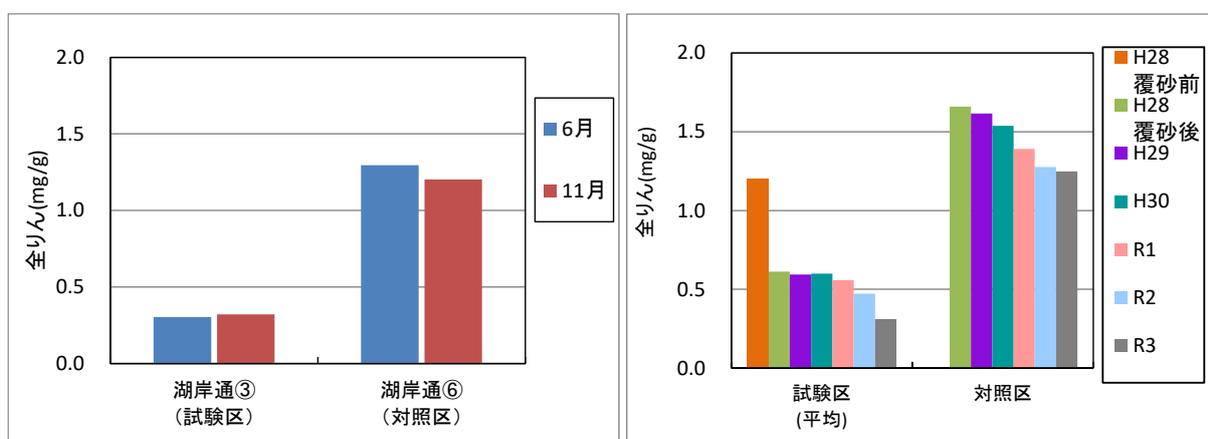


図7 全りんのR3年度測定結果【湖岸通り区】

図8 全りんの経年変化【湖岸通り区】

<粒度分布>

底質調査方法を参考に、礫(粗)(4.75 mm~)、礫(細)(2 mm~4.75 mm)、砂(粗)(425 μm~2 mm)、砂(細)(75~425 μm)、シルト・粘土(~75 μm)の5つの粒度分布組成を求めた。

全底質に対する2 mm以上の礫の割合(1~4%程度)については、同一地点の試料間でのバラつきがみられる。ここでは2 mm未満の底質について測定結果を図9に示す。覆砂施工前(平成28年8月)の試験区のシルト・粘土分の割合(泥分率)は43%であったが覆砂後には10%未満になり、H29、H30、R1、R2年度はそれぞれ8%未満、5%未満、3%未満、4%未満、R3年度は4%未満と低い値を維持していた。一方、対照区の泥分率は65%程度であり、過去の調査と同程度であった。

なお、全底質に対する2 mm以上の礫の割合については、試験区が1.5%程度、対照区が2%程度であった。

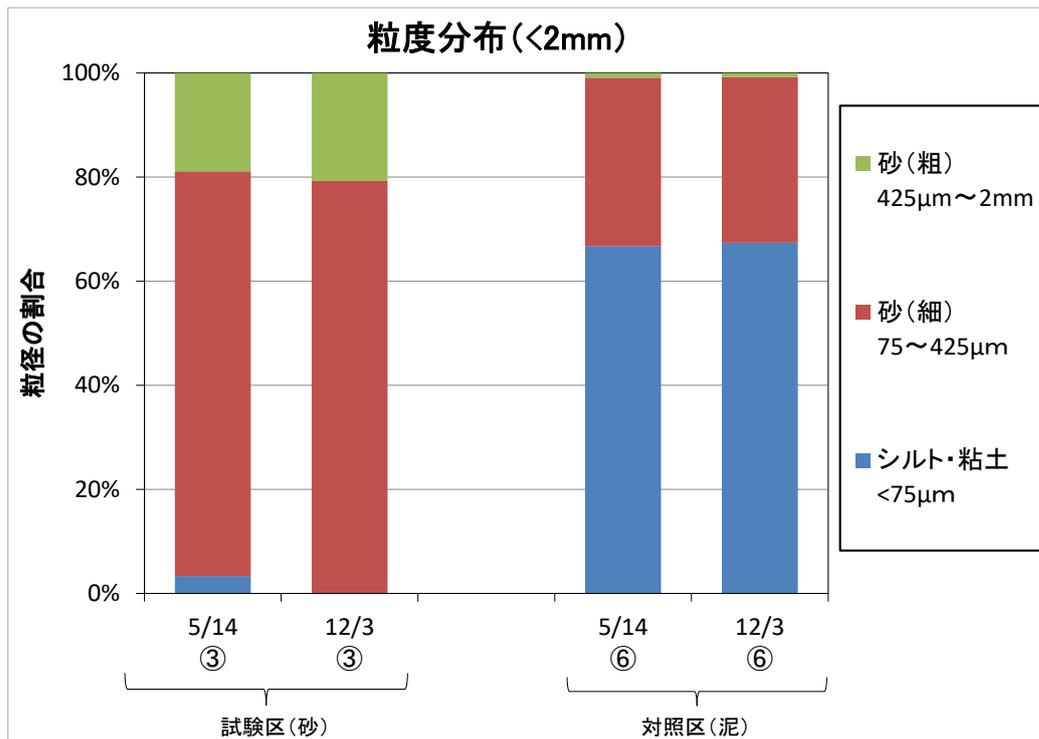


図9 底質の粒度分布組成【湖岸通り区】

3.2.3.2. 高木沖(地点⑦、⑧)

令和元年～2年度に覆砂した試験区⑦について1年程度経過した状況について確認するとともに、対照区⑧と比較して覆砂による底質改善状況を調査した。

<強熱減量>

測定結果を図10に、経年変化(年度別の平均値の推移)を図11に示す。

令和3年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点⑦の強熱減量%(有機物含有量の目安)の値は2.9%であり、対照区の地点⑧の値(17.1~18.6%)と比べて平均15ポイント低かった(対⑧比16%)。また、試験区では調査時期による差は見られなかったが、対照区では6月に比べて11月の方が値が低くなっていた(差1.5ポイント)。

経年変化について、試験区の強熱減量の年度別の平均値は、覆砂前(R1.12月)は11%であったが覆砂後は2.8%に改善し、R3年度の平均値も3%程度で低い値であった。なお、対照区の値は17~19%の範囲で推移している。

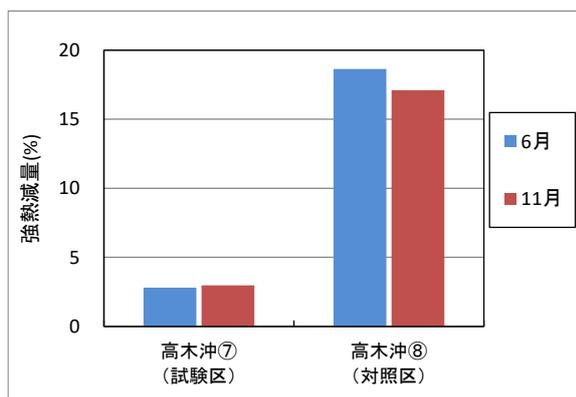


図 10 強熱減量の R3 年度測定結果【高木沖】

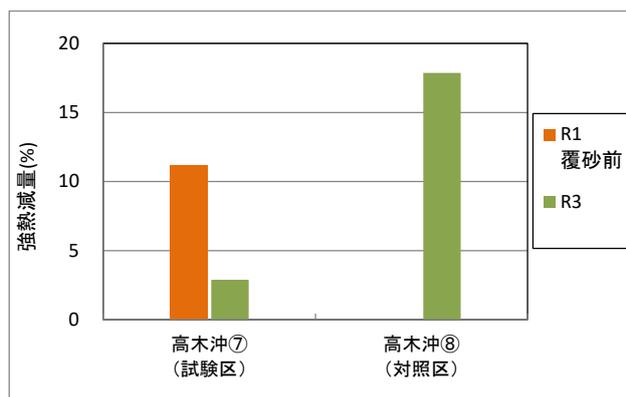


図 11 強熱減量の経年変化【高木沖】

<全窒素>

測定結果を図 12 に、経年変化を図 13 に示す。

令和 3 年度の測定結果について、覆砂した試験区的全窒素濃度は 0.33~0.37 mg/g であり、対照区の濃度(6.44~7.15 mg/g)と比べて平均 6.4 mg/g 低かった (対⑧比 5%)。また、試験区では調査時期による差は見られなかったが、対照区では 6 月に比べて 11 月の方が濃度が低くなっていた (差 0.7 mg/g 程度)。

経年変化について、試験区的全窒素濃度は、覆砂前(R1.12月)が 2.8 mg/g であったが覆砂後は 0.33 mg/g と非常に低い値に改善され、R3 年度の平均値は 0.35 mg/g で低い値であった。なお、対照区の値は 6.4~7.1 mg/g の範囲で推移している。

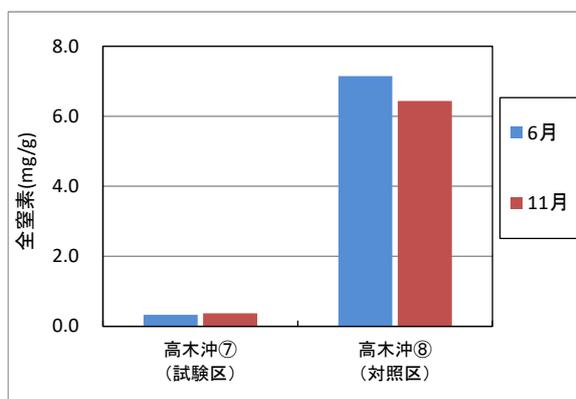


図 12 全窒素の R3 年度測定結果【高木沖】

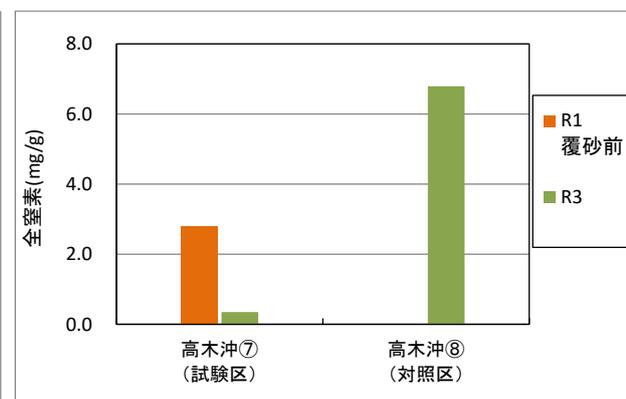


図 13 全窒素の経年変化【高木沖】

<全りん>

測定結果を図 14 に、経年変化を図 15 に示す。

令和 3 年度の測定結果について、覆砂した試験区的全りん濃度は 0.52~0.61 mg/g であり、対照区の濃度(1.62~1.77 mg/g)と比べて平均 1.1 mg/g 低かった (対⑧比 33%)。また、試験区では調査時期による差は見られなかったが、対照区では 6 月に比べて 11 月の方が濃度が低くなっていた(差

0.16 mg/g 程度)。

経年変化について、試験区の全りん濃度は、覆砂前(R1.12月)が 1.35 mg/g であったが覆砂後は 0.61 mg/g と非常に低い値に改善され、R3 年度の平均値は 0.57 mg/g で低い値であった。なお、対照区の値は 1.6~1.8 mg/g の範囲で推移している。

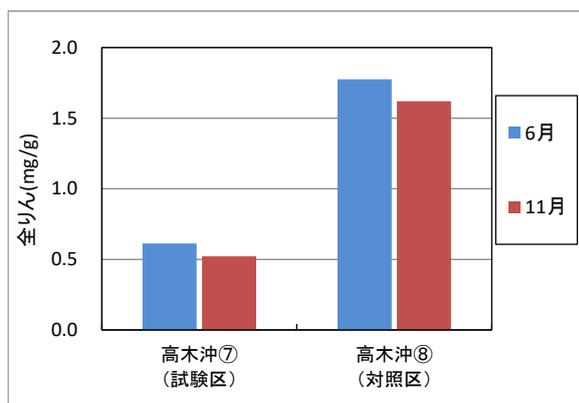


図 14 全りんの R3 年度測定結果【高木沖】

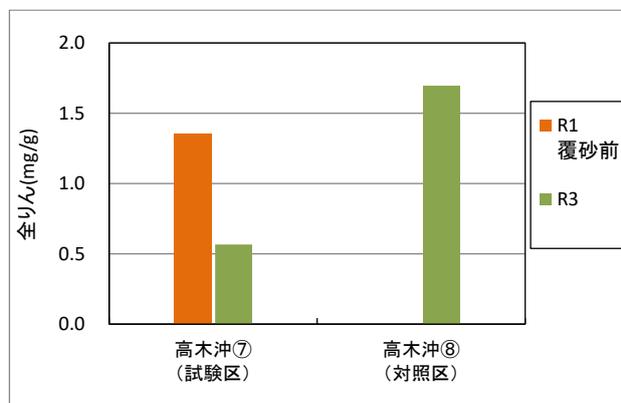


図 15 全りんの経年変化【高木沖】

3.2.3.3. 底泥酸素消費速度

底泥酸素消費速度 (SOD) 試験は、高木沖の地点⑦及び⑧で実施した。

測定結果を表 3、図 16 に示す。DO 経時変化図 (図 17) の近似曲線の傾きが段階的に変化していたため、底泥酸素消費速度 (SOD) は、試験開始から直線的に DO が減少する期間を対象に、DO 減少量を底泥の表面積と時間で除して算出した。また、試験水による酸素消費を補正するため、直上水に用いた試験水の同条件下における DO 経時変化を計測して底泥酸素消費速度を算出し、この値を差し引くことで底泥による酸素消費速度とした。

夏期(7月)の調査について、覆砂した試験区⑦の SOD は平均 0.91 g/m²/d、対照区⑧は平均 1.1 g/m²/d であり、対照区の方が値が高く酸素消費速度が大きかった。前項のとおり両地点の底質性状は顕著に異なり、試験区では砂泥質で有機物量、栄養塩類等の含有量が少なく (強熱減量(IL) 2.2%、全窒素(TN) 0.15 mg/g、全りん(TP) 0.61 mg/g)、対照区では泥質で IL 19%、TN 7.9 mg/g、TP 1.7 mg/g であり、底質性状の違いが要因の一つとして考えられる。また、試験区では底泥コア表面に付着藻類が見られ、付着藻類が多いサンプルほど SOD 値が高い傾向が見られた。R1 年度(渋崎区)調査でも夏期に付着藻類の影響が見られたことから、試験区の底泥コア表面を覆う付着藻類による酸素消費も SOD 値に影響している可能性が考えられる。なお、対照区のサンプル表面はヒシの枯死体等の植物残渣が多く見られた。

秋期(11月)の調査について、覆砂した試験区⑦の SOD は平均 1.5 g/m²/d、対照区⑧は平均 1.5 g/m²/d であり、調査地点間の差は見られなかった。調査地点ごとのサンプル間のバラつき(n=3)を見ると、試験区においてバラつきが大きく(変動係数 CV% 試験区 18%、対照区 6.5%)、試験区の 3本の底泥コアサンプルのうちクロモの枯死体等の植物残渣が多い2サンプルで SOD 値が大きく、バラつきの要因と推察される。

2期の調査から季節変動について、両地点において秋期の方がSODが大きい値であった。秋期のサンプル表面には試験区でクロモ、対照区でヒシ等の枯死体が多く堆積していた。この傾向は、R2(湖岸通り区)の調査においても同様に見られている。

夏期(7月)の調査において、試験区の方が値が小さく酸素消費速度が小さかったが、試験区の方がSODが小さい傾向は、R1(渋崎区)、R2(湖岸通り区)の秋期の調査においても同様に見られている。

なお、本試験は暗条件下で行っているが、現場環境においては付着藻類の日中の光合成による酸素供給の側面も考慮する必要があると思われる。

底泥の不均一性を考慮したサンプル間のバラつきについて、サンプル数3又は5本で測定値の変動係数を確認した。測定結果から変動係数は5.7~21%であり、基準はないがCV 20%程度を目安とすれば妥当な範囲であった。なお、CVが最も大きかった試験区⑦・夏期については、サンプル間の底泥コア表面の付着藻類の有無による影響でバラつきが大きくなったと考えられる。

表3 底泥酸素消費速度調査 調査結果 (g/m²/day) 【高木沖】

試料名	サンプル数	最小値	最大値	平均値	CV%	採泥日	水温*1 (°C)	IL*2 (%)	TN*2 (mg/g)	TP*2 (mg/g)
試験区⑦・夏期	5	0.68	1.2	0.91	21	7/20	25.1	2.2	0.15	0.61
対照区⑧・夏期	5	1.0	1.2	1.1	5.7	7/29	25.1	19	7.9	1.7
試験区⑦・秋期	3	1.2	1.8	1.5	18	11/24	8.6	3.0	0.37	0.52
対照区⑧・秋期	3	1.4	1.6	1.5	6.5	11/24	8.8	19	7.8	1.7

*1 水温：現地の底層水の水温

*2 底泥コアの表層0-1cm又はエクマンバージ採泥による測定値

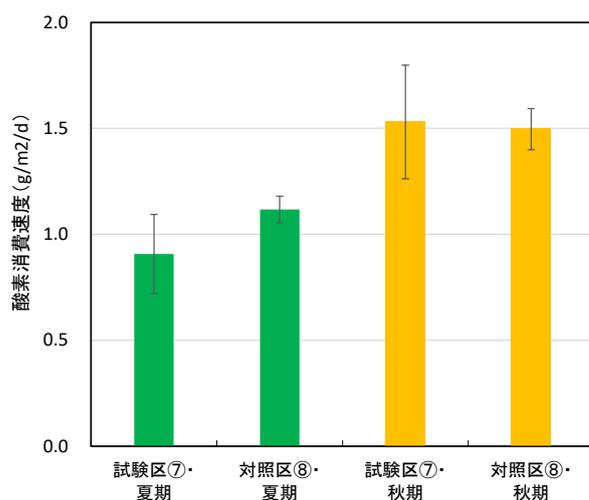


図16 底泥酸素消費速度 測定結果【高木沖】

※エラーバーは標準偏差を示す

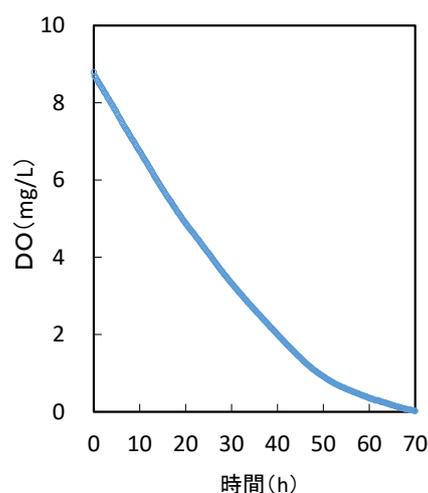


図17 DO経時変化(対照区・秋期)

3.2.4 考察・まとめ

湖岸通り区では、平成 28 年度に覆砂を実施した試験区③において、対照区⑥と比較して有機物量や栄養塩類(強熱減量、全窒素、全りん等)の測定値は低く、覆砂施工直後から概ね同程度で推移しており、覆砂施工から 5 年程度経過してもその明瞭な底質改善効果が維持されていることが確認された。

高木沖では、令和元年～2 年度に覆砂を実施した試験区⑦において、対照区⑧と比較して有機物量や栄養塩類(強熱減量、全窒素、全りん等)の測定値は低く、覆砂施工により底質が改善され、覆砂施工から 1 年程度経過した状況においてその明瞭な底質改善効果が確認された。

また、底質改善効果を測定項目別にみると、試験区の値は対照区と比較して、強熱減量で 8 割減(対対照区比平均 17%)、全窒素で 9 割減(対対照区比平均 6%)、全りんで 7 割減(対対照区比 29%)であった。(それぞれ湖岸通り区及び高木沖の平均)

底泥酸素消費速度について、高木沖で初めて調査を実施した結果、試験区と対照区の SOD(平均値)は夏期に試験区の方が低い値であり、季節変動は秋期の方が値が高い傾向が見られ、覆砂による底質性状の違い、付着藻類、水生植物の堆積等による酸素消費の影響が示唆された。今後、付着藻類、水生植物の堆積等による影響を考慮し SOD の詳細な季節変動を把握する必要があると考える。

底質調査については、今後も継続的に調査を実施し、底質の状況や改善効果の推移を確認していくことが必要である。

3.3 淡水シジミ生息調査

長野県水産試験場諏訪支場

3.3.1 調査目的

渋崎、湖岸通りおよび高木地区の覆砂場所およびその対照区における淡水シジミの生息状況を調査・比較し、覆砂による底質改善の効果を検証する

3.3.2 調査方法

調査年月日

令和3年5月14日、8月23日、11月18日

調査方法

渋崎および湖岸通り地区の覆砂区では、覆砂場所内で無作為に選んだ3カ所に縦1m×横1m×高さ0.2mのコドラートを湖底に設置し、コドラート内の底層10cmまでの砂を目合い1mmのタモ網で採取し、再度、目開き1mmの円形金属ふるいでふるって淡水シジミを抽出した。

高木地区の覆砂区ならびに渋崎、湖岸通りおよび高木地区の対照区では水深が深く同様の調査が困難なため、調査地点付近で無作為に選んだ1カ所で船上から目合1mmの網を付けたジョレンを用いて1m²を目安に底質を採取し、再度、目開き1mmの円形金属ふるいでふるって淡水シジミを抽出した。

淡水シジミの産卵期の盛期はおおよそ6月から9月と言われている。また、藤原(1977)によると、8月、11月および翌5月のシジミ0⁺個体の最大殻長はそれぞれ10、16および21mmとされている。そこで、本調査では採取した淡水シジミの殻長を測定し、各月でその殻長未満であったものを0⁺個体、それ以上であったものを1⁺以上個体と区分した。なお、今年の産卵期前となる5月に採捕された0⁺個体は令和2年産まれにあたる。覆砂区では3カ所で採取した0⁺個体および1⁺以上個体のそれぞれの個体数の平均をその時期の生息密度とした。

3.3.3 結果

年齢組成

渋崎地区および湖岸通り地区の殻長頻度分布をそれぞれ図1および図2に示す。

渋崎地区の覆砂区において採取した淡水シジミ0⁺個体および1⁺以上の個体の個体数は、5月がそれぞれ6および0個体、8月がそれぞれ28および2個体、11月がそれぞれ32および2個体であった(表)。5月、8月および11月の0⁺個体の割合はそれぞれ100、93および94%と、採取された淡水シジミのほとんどは0⁺個体であった。

湖岸通り地区の覆砂区において採取した淡水シジミ0⁺個体および1⁺以上の個体の個体数は、5月がそれぞれ11および0個体、8月がそれぞれ2および1個体、11月がそれぞれ9および0個体であった。5月、8月および11月の0⁺個体の割合はそれぞれ100、67および100%と、採取された淡水シジミのほとんどは0⁺個体であった。

高木地区の覆砂区では淡水シジミは採取されなかった。渋崎、湖岸通りおよび高木地区の対照

区ではいずれの月においても淡水シジミは採取されなかった。

淡水シジミの産卵期の盛期は6月頃から9月頃と言われているので、5月の調査において渋崎地区および湖岸通り地区の覆砂区では前年から生息していた淡水シジミが採捕されたものの、対照区では淡水シジミは採捕されなかった。8月および11月の調査において両地区の覆砂区では本年生まれの殻長2～4mmおよび4～6mmの淡水シジミが多数採捕されたが、対照区では淡水シジミは採捕されなかったことから、淡水シジミは覆砂区で繁殖している可能性が考えられた。

高木地区の覆砂区は令和2年に造成された新規の覆砂区である。渋崎および湖岸通り地区の覆砂区では、覆砂区が造成された数年後に淡水シジミの生息が確認できたことから、今年度は確認できなかったが数年後に高木地区においても淡水シジミが生息している可能性が考えられる。今後も淡水シジミの生息状況をモニタリングしていく必要がある。

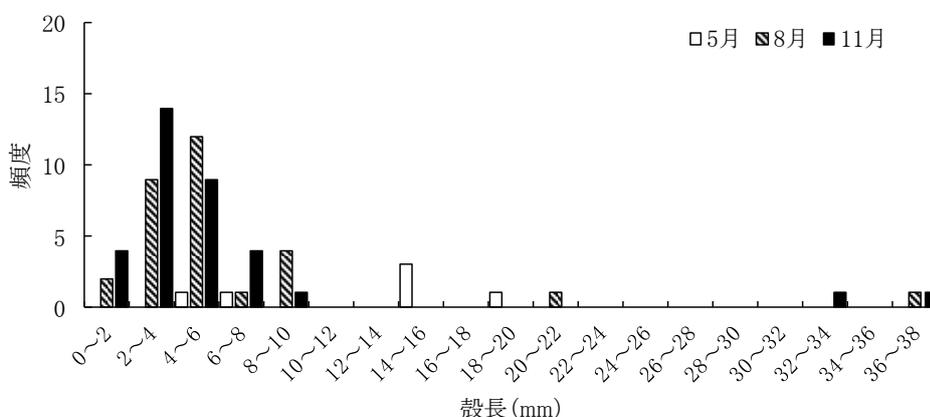


図1 渋崎地区の覆砂区における5、8、11月の淡水シジミの殻長頻度分布

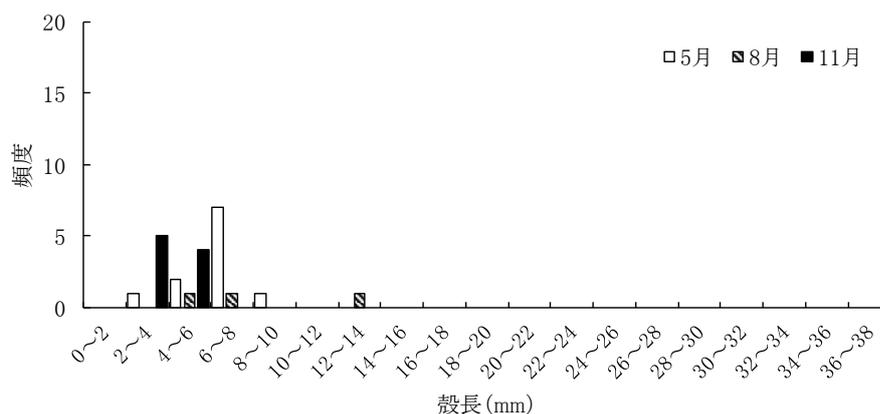


図2 湖岸通り地区の覆砂区における5、8、11月の淡水シジミの殻長頻度分布

表 渋崎、湖岸通りおよび高木地区における淡水シジミの個体数と年齢組成

年齢	渋崎地区覆砂区の個体数			湖岸通り地区覆砂区の個体数			高木地区覆砂区の個体数		
	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)
0 ⁺	6 (100)	28 (93)	32 (94)	11 (100)	2 (67)	9 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1 ⁺ ~	0 (0)	2 (7)	2 (6)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

生息密度

渋崎地区の覆砂区において採取した淡水シジミ 0⁺個体および 1⁺以上の個体の生息密度(平均値±標準偏差)は、5月がそれぞれ 2.0±2.0 および 0 個体/m²、8月がそれぞれ 9.3±6.1 および 0.7±0.6 個体/m²、11月がそれぞれ 10.7±4.5 および 0.7±0.6 個体/m²であった(図3)。

湖岸通り地区の覆砂区において採取した淡水シジミ 0⁺個体および 1⁺以上の個体の生息密度は、5月がそれぞれ 3.7±1.5 および 0 個体/m²、8月がそれぞれ 0.7±0.6 および 0.3±0.6 個体/m²、11月がそれぞれ 3.0±2.6 および 0 個体/m²であった(図4)。

高木地区の覆砂区では淡水シジミは採取されなかった。

渋崎、湖岸通りおよび高木地区の対照区ではいずれの月においても淡水シジミは採取されなかった。

生息密度の推移は、渋崎地区および湖岸通り地区の覆砂区において産卵による新規加入によって8月および11月に0⁺個体の生息密度が上昇した。

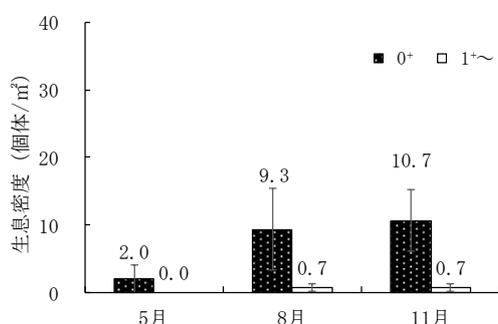


図3 渋崎地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度 (Iは標準偏差)

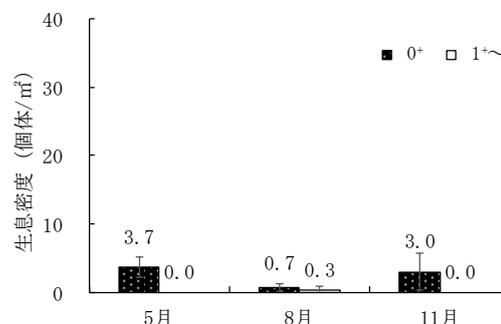


図4 湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度 (Iは標準偏差)

3.3.4 過去の調査結果を踏まえた経年変化等

淡水シジミ生息調査で採取された0⁺個体と1⁺以上の個体の4年間の渋崎地区および湖岸通り地区の生息密度の推移をそれぞれ図5および図6に示す。淡水シジミ生息調査が平成30年5月に始まった渋崎地区および平成30年11月に始まった湖岸通り地区において、淡水シジミの生息密度は両地区とも0⁺個体を中心に春に少なく夏から秋に増える傾向を示し、増減を繰り返している。淡水シジミの産卵期の盛期は6から9月といわれているため、5月から8月および11月にかけて観察された0⁺個体の増加要因としては産卵による0⁺個体の新規加入、11月から5月にかけて観

察された0⁺個体や1⁺以上の個体の減少要因としては水温の低下（平野・藤原，1987）や魚類、鳥類および甲殻類による被食（粕谷・陣野，2014、北野ら，2017）が考えられ、今後もモニタリング調査を継続し、淡水シジミの生息密度の増減やその要因を調査していく必要がある。

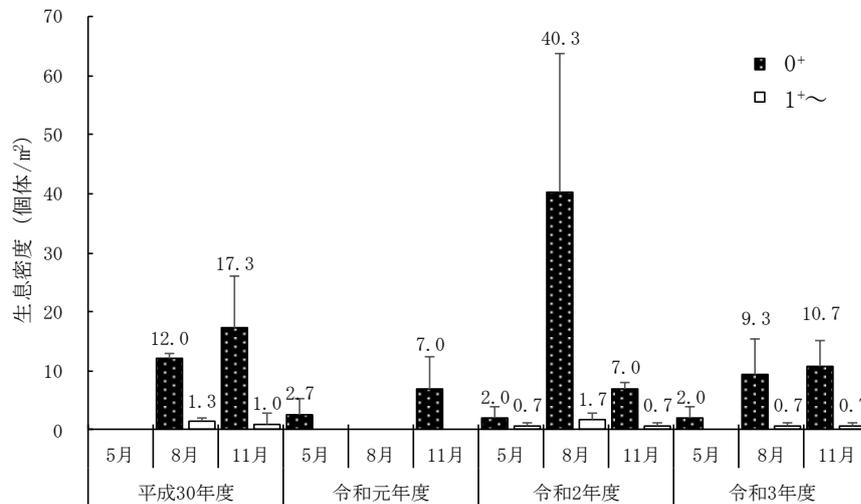


図5 渋崎地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移（Iは標準偏差）

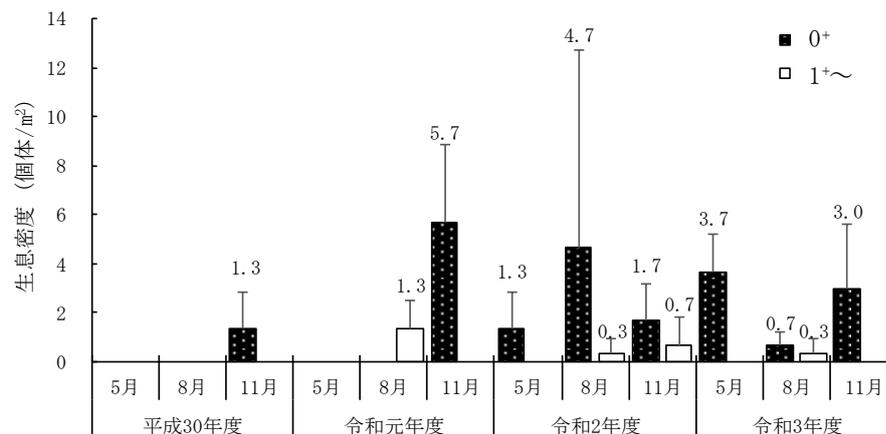


図6 湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移（Iは標準偏差）

3.3.5 まとめ

- 対照区では淡水シジミは採取されなかった。
- 新規に造成された高木地区の覆砂区では淡水シジミは採取されなかった。
- 渋崎地区および湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度については、0⁺個体を中心に春に少なく夏から秋に増える傾向を示し、増減を繰り返している。

3.3.6 参考文献

- 藤原（1977）：マシジミの稚貝の成長について．貝雑 Vol. 36, No. 1 p. 19-24

- 平野・藤原（1987）：マシジミの成長と寿命. 水産増殖 35, p. 183-189
- 北野ら（2017）：琵琶湖につながる農業水路における淡水シジミの生息状況と絶滅危惧種マシジミの保全に係る水路管理手法の検討. 伊豆沼・内沼研究報告 11, p. 55-66

3.4 底生生物および魚類調査

水産試験場諏訪支場

3.4.1 調査目的

覆砂区の生物相が安定するまでにある程度の時間を要することが想定されるため、継続的なモニタリング調査により、底生生物の生息状況から覆砂による底質改善の効果を評価した。本年度は平成 27 年度に造成した渋崎地区の覆砂区の 6 年後、平成 28 年度に造成した湖岸通り地区の覆砂区の 5 年後および令和 2 年に造成した高木地区の覆砂区の 1 年後の底生生物および魚類の生息状況を把握した。

3.4.2 調査方法

3.4.2.1 底生生物調査

調査は 3 回行い、令和 3 年 6 月 15 日、8 月 23 日、10 月 11 日に筌網を調査地点に設置し、それぞれ 2 日後の 6 月 17 日、8 月 25 日、10 月 13 日に回収した。調査地点は渋崎地区、湖岸通り地区および高木地区のそれぞれ覆砂区および対照区の合計 6 地点とした。なお、渋崎地区および湖岸通り地区の覆砂区および対照区は前年度と同じ調査地点とし、高木地区の覆砂区および対照区は令和 2 年度に新規に造成された調査地点とした。使用漁具は目合い 3 mm、5 mm および 12 mm の筌網（表 1）を調査地点に各 1 個設置し、採捕した生物は、実験室に持ち帰り、冷凍庫で凍結保存したのち、種類、個体数を確認し、3 回分の合計の採捕個体数を求めた。

表 1 調査に使用した網筌の仕様

目合い	大きさ	開口部数	備考
3 mm	45×30×15cm	1	金属製
5 mm	45×30×15cm	1	金属製
12mm	67×47×12cm	2	小判型

3.4.2.2 魚類調査

調査は 3 回行い、令和 3 年 6 月 15 日、8 月 24 日、10 月 11 日に調査地点付近で投網を行った。調査地点は底生生物調査と同様に渋崎地区、湖岸通り地区および高木地区のそれぞれの覆砂区および対照区の合計 6 地点とした。使用漁具は目合い 1 mm の投網を調査地点ごとに 5 回ずつ行い、採捕した生物は、実験室に持ち帰り、冷凍庫で凍結保存したのち、種類、個体数を確認し、3 回分の合計の採捕個体数を求めた。

3.4.3 調査結果

3.4.3.1 底生生物調査

採捕種数は渋崎地区の覆砂区および対照区はそれぞれ 5 および 4 種、湖岸通り地区の覆

砂区および対照区はそれぞれ6および5種、高木地区の覆砂区および対照区はそれぞれ6および1種と覆砂区の方が対照区より多かった（表2）。

採捕個体数は渋崎地区の覆砂区および対照区はそれぞれ19および30個体と、対照区の方が覆砂区より多かった。湖岸通り地区の覆砂区および対照区はそれぞれ21および26個体と、対照区の方が覆砂区より多かった。高木地区の覆砂区および対照区はそれぞれ28および5個体と、覆砂区の方が対照区より多かった。

採捕された魚類はウキゴリ、ヌマチチブ、ドジョウ、カラドジョウおよびブルーギルであった。渋崎地区における覆砂区および対照区の採捕種数はそれぞれ2および1種、採捕個体数はそれぞれ7および5個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区の採捕種数はそれぞれ3および2種、採捕個体数は両区ともに11個体であった。高木地区における覆砂区および対照区の採捕種数はそれぞれ4および1種、採捕個体数はそれぞれ11および5個体であった。渋崎、湖岸通りおよび高木地区ともに、魚類の採捕種数および採捕個体数は覆砂区の方が対照区より多かった。

採捕された甲殻類はテナガエビおよびスジエビであった。渋崎地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数は両区ともに2個体、スジエビの採捕個体数はそれぞれ4および16個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数はそれぞれ4および1個体、スジエビの採捕個体数はそれぞれ1および11個体であった。高木地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数はそれぞれ3および0個体、スジエビの採捕個体数はそれぞれ14および0個体であった。テナガエビについては湖岸通りおよび高木地区において対照区より覆砂区で多く採捕された。スジエビについては渋崎および湖岸通り地区において覆砂区より対照区で多く採捕された。

採捕された貝類はタニシ科であった。渋崎地区の覆砂区および対照区のタニシ科の採捕個体数はそれぞれ6および7個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区のタニシ科の採捕個体数はそれぞれ5および3個体であった。高木地区ではタニシ科は採捕されなかった。

表2 渋崎、湖岸通り及び高木地区における5、8、11月に採捕された種及び個体数

調査地点		魚類				甲殻類		貝類	合計	
		ウキゴリ	ヌマチチブ	ドジョウ	カラドジョウ	ブルーギル	テナガエビ	スジエビ		タニシ科
渋崎	覆砂区	3	4				2	4	6	19
	対照区	5					2	16	7	30
湖岸通り	覆砂区	7	2	2			4	1	5	21
	対照区	7	4				1	11	3	26
高木	覆砂区	3	1		1	6	3	14		28
	対照区					5				5
合計		25	11	2	1	11	12	46	21	129

3.4.3.2 魚類調査

採捕種数は渋崎地区の覆砂区および対照区はそれぞれ6および2種、湖岸通り地区の覆

砂区および対照区はそれぞれ1および4種、高木地区の覆砂区および対照区はそれぞれ6および3種であった(表3)。

採捕された魚類はワカサギ、タモロコ、モツゴ、フナ、オオクチバス、ブルーギル、ウキゴリ、ヌマチチブおよびカマツカであった。渋崎地区における覆砂区および対照区の採捕個体数はそれぞれ20および135個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区の採捕個体数はそれぞれ5および15個体であった。高木地区における覆砂区および対照区の採捕個体数はそれぞれ73および4個体であった。ワカサギについては渋崎地区の対照区および高木地区の覆砂区でそれぞれ134および46個体と多く採捕された。渋崎地区の対照区は覆砂区より沖側のため、沖側の比較的水深が深い場所に生息するワカサギが多く採捕されたことが考えられた。また、高木地区の覆砂区は覆砂の効果で水草が少なかったが、対照区ではヒシやクロモ等の水草が繁茂し投網による捕獲率が低かったためワカサギがあまり採捕されなかった可能性が考えられた。

表3 渋崎、湖岸通り及び高木地区における5、8、11月に採捕された種及び個体数

調査地点	ワカサギ	タモロコ	モツゴ	フナ	オオクチバス	ブルーギル	ウキゴリ	ヌマチチブ	カマツカ	合計
渋崎	覆砂区	8	2	1		4			1	20
	対照区	134	1							135
湖岸通り	覆砂区				5					5
	対照区	10		1	1	3				15
高木	覆砂区	46		7	2	11	5	2		73
	対照区	1	2			1				4
合計	199	5	9	2	10	19	5	2	1	252

3.4.4 過去の調査結果を踏まえた経年変化等

4年間の調査で渋崎地区および湖岸通り地区で採捕された種および個体数の一覧を表4に示した。4年間で採捕された種は、魚類が10種、甲殻類が2種、貝類が2種であった。

魚類については、4年間毎年採捕された種は、ヌマチチブの1種で、それ以外は1から3年確認された種が大半であった。また、ヌマチチブは覆砂区および対照区の両区から確認されており、生息環境を選択している様子はなかった。現在のところ、魚類については覆砂によって創出された環境を強く選択する種は出現していないと考えられる。

貝類については、使用漁具が網筈であったことから、移動力のある巻貝のみ採捕された。タニシ科は覆砂区および対照区で、カワニナ科は覆砂区でのみ採捕されたが、カワニナ科は採捕個体数が1個体であり、巻貝類への覆砂の効果は明らかではない。

対して、甲殻類については、本年度はテナガエビの採捕数が少なく明確な差は見られなかったが、テナガエビが覆砂区で多く、スジエビが対照区で多い傾向が、平成30年度および令和2年度で観察されている。山根(1991)はテナガエビの底質選択制を室内実験で調査し、テナガエビは礫等の粒径が小さい底質より小石等の粒径が大きい底質の方を好適な場とし

て選択していることを示唆しており、本調査の平成 30 年度および令和 2 年度における粒径の大きい底質を含む覆砂区の方が泥地の対照区よりテナガエビが多く採捕された結果を支持している。

一方で、覆砂後 5、6 年経過してもその好適な環境が維持されているかは明らかではなく、今後も底生生物および魚類の生息状況のモニタリング調査を継続する必要がある。

表 4 渋崎地区および湖岸通り地区における 4 年間の調査で採捕された種および個体数

年度	H30				R1				R2				R3				総個体数
	渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区													
モツゴ		2		17	5	13	24	17		1	1	1					81
ビワヒガイ				1													1
コイ													1				1
ドジョウ															2		
魚類								1									1
カラドジョウ																	
ウキゴリ									1	6	1	1	3	5	7	7	31
ヌマチチブ	3	5	6	2	7	7		5	5	13	2	7	4		2	4	72
ヨシノボリ	3																3
オオクチバス															1		1
ブルーギル								1									1
甲殻類																	
テナガエビ	34	4	17	12		1	7	1	23	3	10	2	2	2	4	1	123
スジエビ	1	2	1	7	2	1	9	25	5	12		15	4	16	1	11	112
貝類																	
タニシ科		1		5	1		5		3	4	2		6	7	5	3	42
カワニナ科									1								1
合計	41	14	24	44	15	22	45	50	38	39	16	28	19	30	21	26	470

3.4.5 参考文献

- 山根 (1991) : テナガエビ (*Macrobrachium nipponense*) の底質荒度評価について. 近畿大学農学部紀要, 第 24 号, p. 25-27

4.1. 調査地点及び調査項目

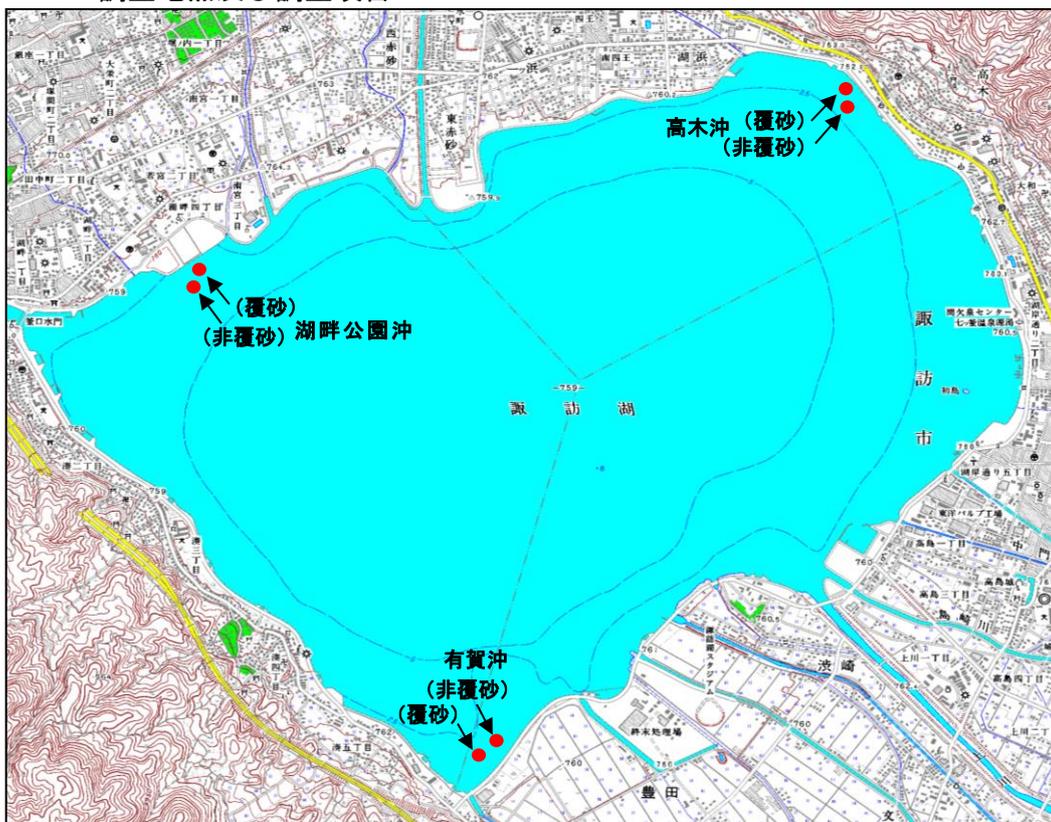


図1 調査地点位置図（背景図は国土地理院数値地図使用）

調査項目

- ①水質環境調査：水質調査（計6地点）、底質調査（計6地点）
- ②水生植物の回復状況調査：水草調査（計6地点）、水草分析（ヒシ・クロモ）

測定分析（水質）1 地点 1 水深当たりの分析項目		測定分析（底質）1 検体の分析項目	
水温	1 検体	全窒素（含有）	1 検体
溶存酸素量（DO）	1 検体	全リン（含有）	1 検体
酸化還元電位（ORP）	1 検体	含水率	1 検体
電気伝導率（EC）	1 検体	全窒素（溶出）	1 検体
水素イオン濃度（pH）	1 検体	全リン（溶出）	1 検体
浮遊物質（SS）	1 検体		
クロロフィル a	1 検体	測定分析（水草）1 検体の分析項目	
化学的酸素要求量（COD）	1 検体	湿潤重量	1 検体
溶解性 COD（d-COD）	1 検体	乾燥重量	1 検体
全窒素（TN）	1 検体	全炭素（TC）	1 検体
溶存態全窒素（d-TN）	1 検体	全リン（TP）	1 検体
アンモニア態窒素	1 検体	全窒素（TN）	1 検体
全リン（TP）	1 検体		
溶存態全リン（d-TP）	1 検体		

注）水質分析は1地点3水深（表層・中層・底層）で7.8.9.10月に実施

表 1 ヒシの繁茂状況

調査地点		ヒシの植被率(10×10m)			
		7月(7/19)	8月(8/28)	9月(9/14)	10月(10/14)
湖畔公園沖	覆砂	0.05%	0.02%	0%	0%
	非覆砂	0%	0%	0%	0%
高木沖	覆砂	2%	20%	25%	10%
	非覆砂	95%	100%	100%	85%
有賀沖	覆砂	15%	20%	25%	0.01%
	非覆砂	90%	100%	45%	0%

水面のヒシ繁茂状況の凡例

- 植被率100～75% (密)
- 植被率74～25% (中)
- 植被率24～5% (疎)
- 植被率4～0% (ほぼ無し)

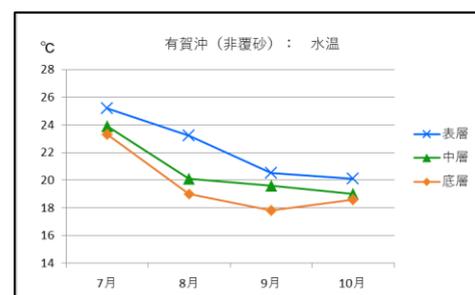
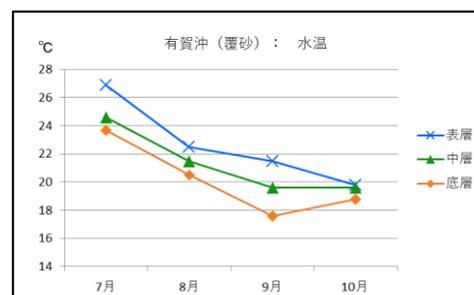
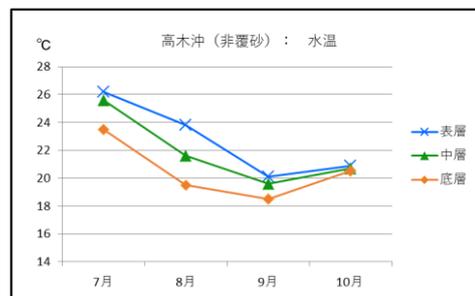
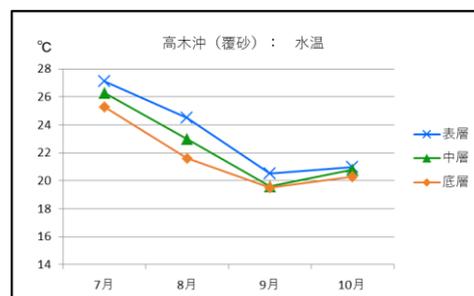
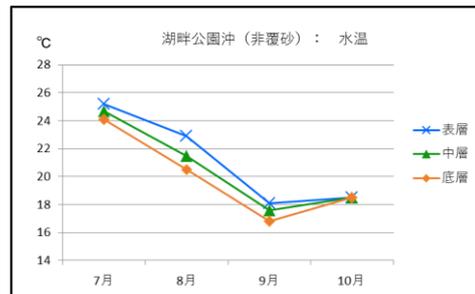
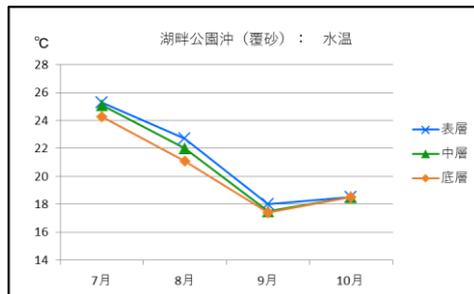
4.2. 水質等調査結果の概要

4.2.1. 今年度の調査結果概要

(1) 水質調査結果

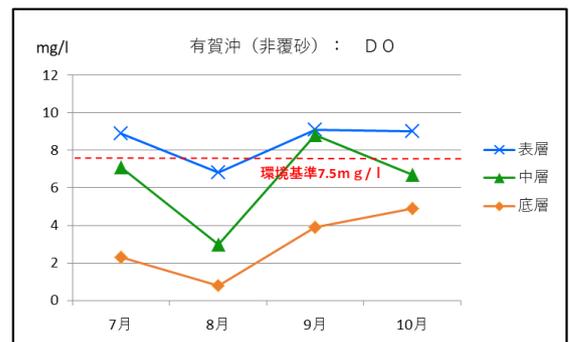
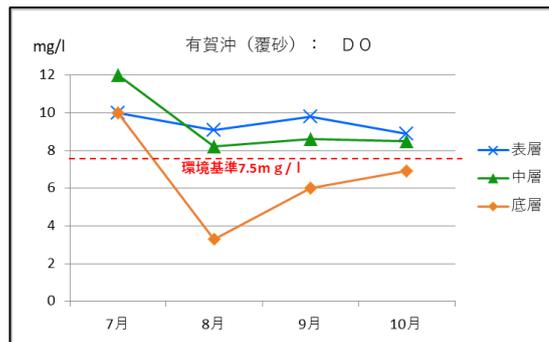
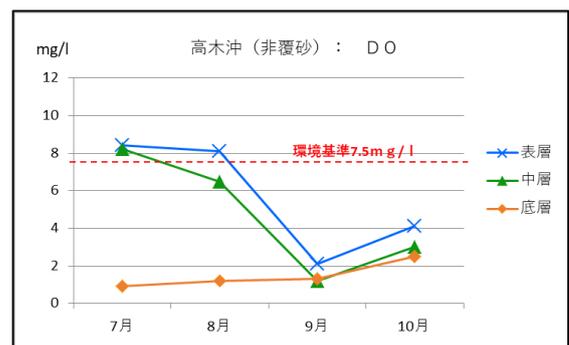
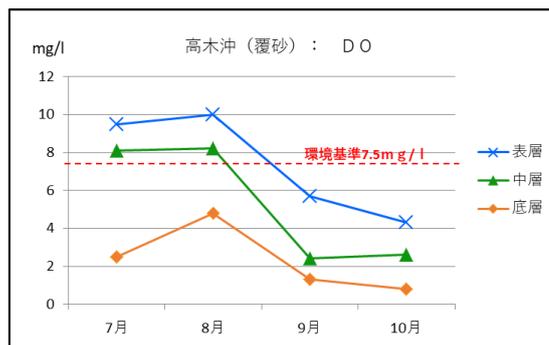
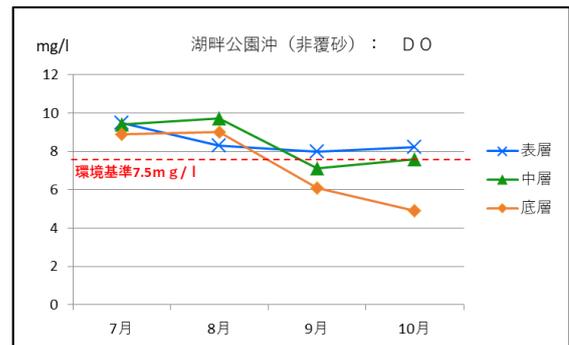
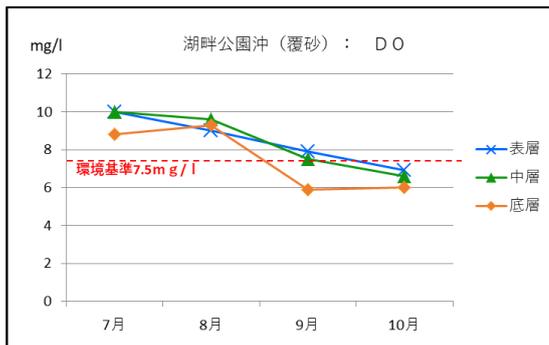
①水温

7月をピークにして8月以後はいずれの調査地点でも水温が低下していったが、10月には少し上がる傾向が見られた。階層別水温については、底層から中層、表層になるに従って水温が高くなるとともに、7～9月はヒシの植被率が高かった高木沖（非覆砂）、有賀沖（覆砂）、有賀沖（非覆砂）で表層から底層までの水温差が大きい傾向が見られた。ヒシの浮葉が表層付近の水温を上げている影響によるものと思われる。一方で、ヒシの全くなかった湖畔公園沖（非覆砂）及びヒシのほとんどなかった湖畔公園沖（覆砂）では表層から底層までの水温差が小さかった。10月になると湖畔公園沖及び高木沖では覆砂の有無に関係なく表層から底層までの水温差がほとんどなくなったが、有賀沖では水温差が顕著に小さくならなかった。10月の有賀沖では流入河川の冷たい水が底層付近に潜り込んでいる影響があるものと思われる。



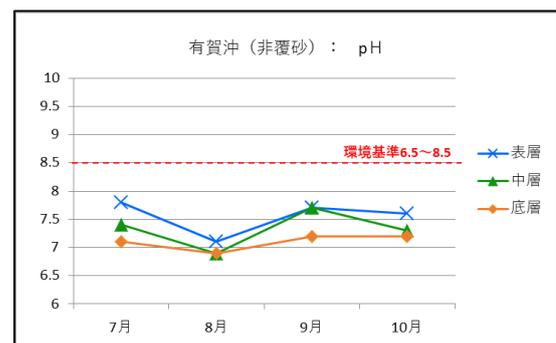
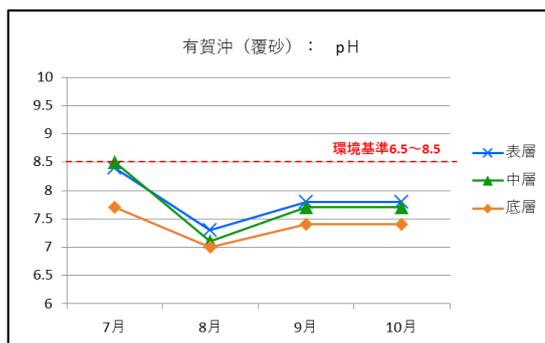
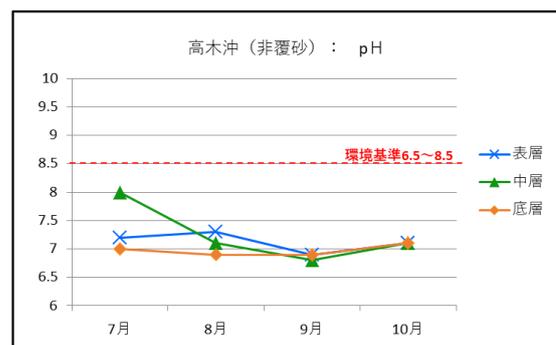
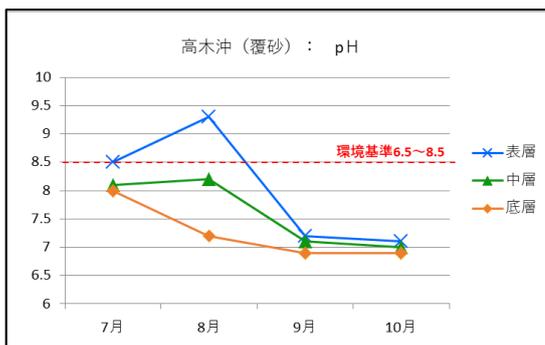
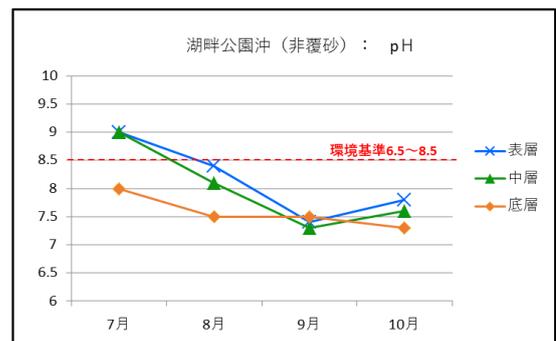
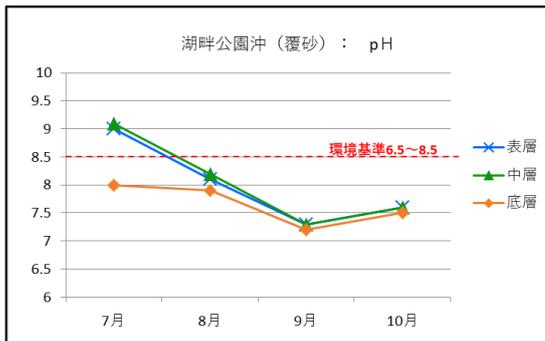
②DO（溶存酸素量）

階層的特徴として底層におけるDOが低い傾向が見られ、特にヒシの繁茂していた7～10月の高木沖（非覆砂）及び7～8月の有賀沖（非覆砂）では低く、ヒシ繁茂の影響によるものと思われる。また、高木沖（覆砂）における7月及び9～10月の底層もDOが低く、沈水植物のクロモが繁茂していた影響があるものと思われる。一方で、表層及び中層ではDOが高い傾向が見られ、7～8月は有賀沖（非覆砂）を除き概ね環境基準を満たした。しかし、9～10月になるとDOの低下傾向が見られ、特に高木沖では覆砂の有無に関係なくすべての階層で環境基準値以下に低下した。



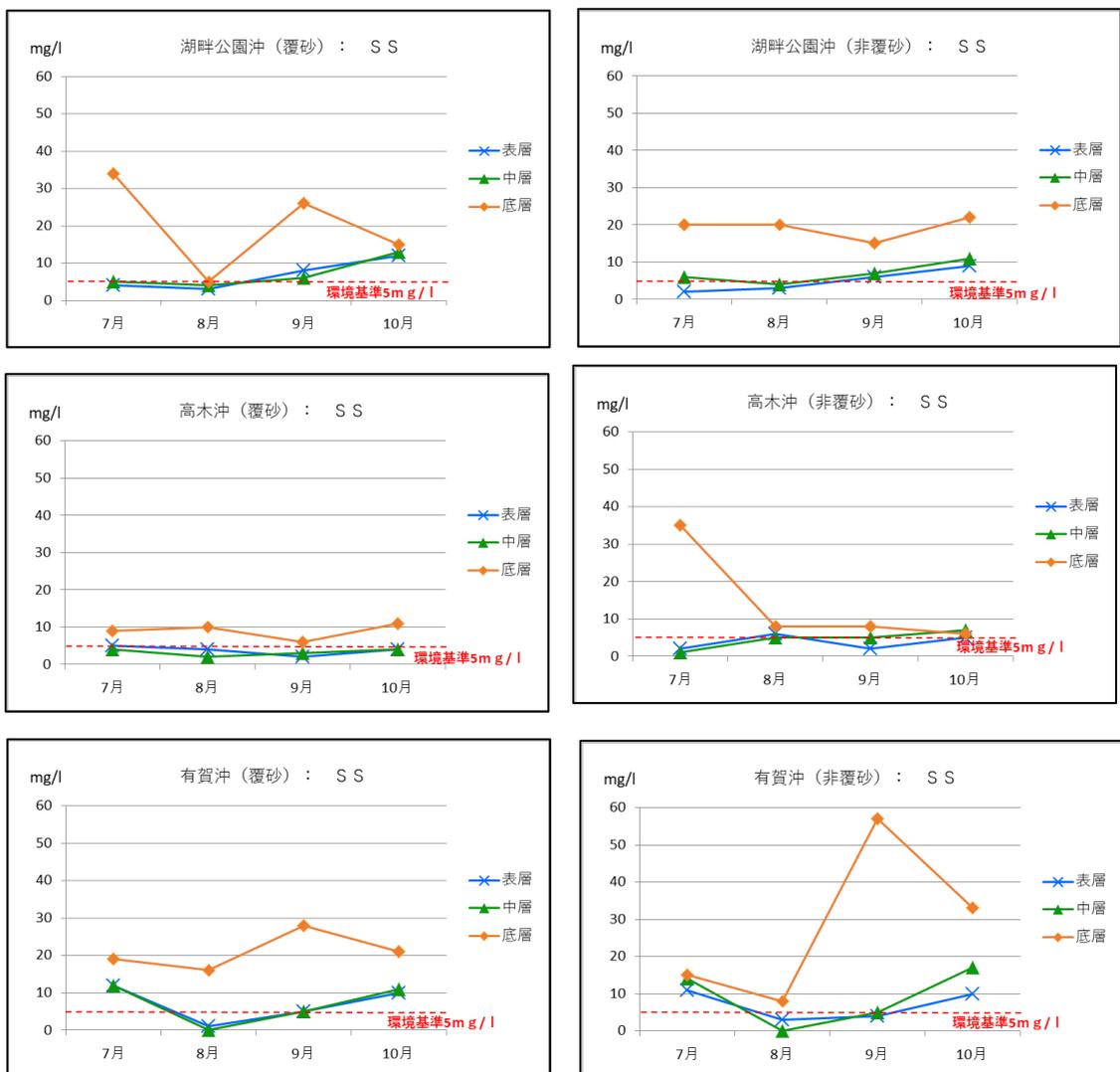
③ pH (水素イオン濃度)

季節的変動特性として、7月に高木沖(覆砂)を除いて表層・中層のpHが高い傾向が見られ、特に湖畔公園沖では覆砂の有無に関係なく環境基準を超えるまでの高さになった。一般的に、植物プランクトン量の増加に伴い水中の二酸化炭素(CO₂)が減少してpHが高くなると言われているが、7月の湖畔公園沖では覆砂の有無に関係なくクロロフィル濃度がそれ程高くなかった。また、高木沖(覆砂)では、8月に表層のみが環境基準を超えるまでに高くなった。一方で、底層においては表・中層よりpHが低くなる傾向が見られ、いずれの地点でもすべての階層において環境基準を超えるまでに高くなることはなかった。



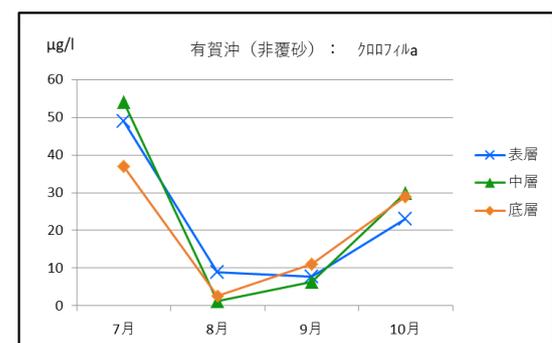
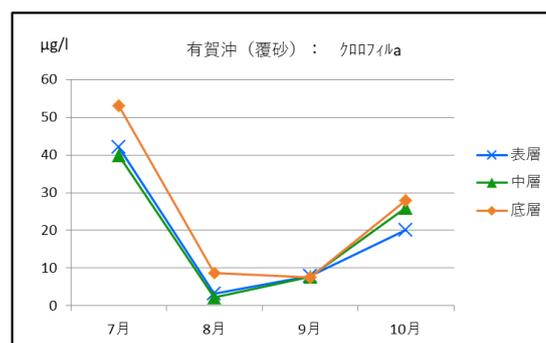
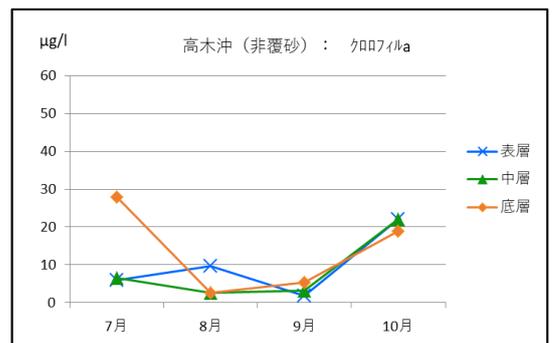
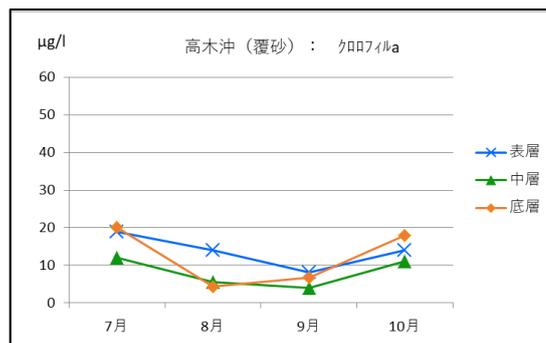
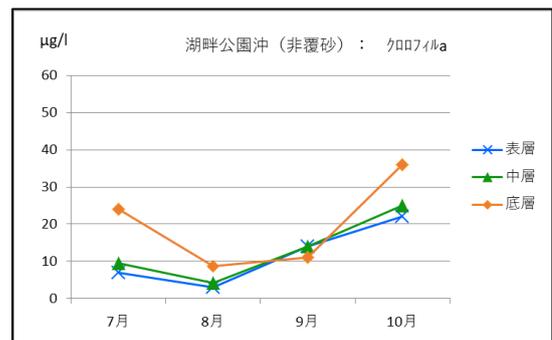
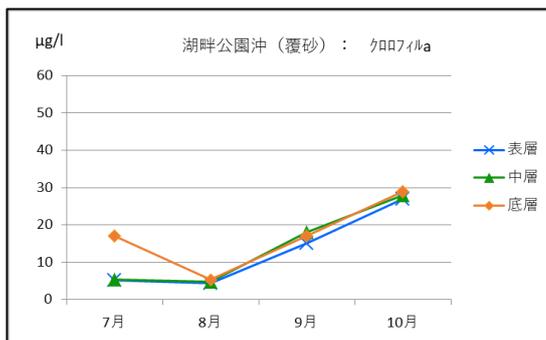
④SS（浮遊物質）

底層においていずれの地点でもSSが高く、特に有賀沖（非覆砂）の底層で9月にSSが高くなった。底層のSSが高くなる要因としては、藻類を含む有機質などの沈降や荒波に伴う底質や沈降物の巻き上げなどが考えられる。有賀沖（非覆砂）では9月にヒシが枯れ始めているが、9月にはクロロフィルaの値がそれ程高くないにもかかわらず底層の全窒素と全リンが高く、特に全リンはすべての地点・時期において最も高くなった。これらの状況から、離脱・沈降して分解しつつある付着藻類や、腐って分解しつつある水草の小さな破片のようなものが、底層付近に多量に浮遊していたためにSSが高くなったのではないかとと思われる。一方で、表層・中層ではSSが低く、また表層と中層のSSの差も小さかった。特に沈水植物の繁茂していた高木沖（覆砂）の表層・中層では、SSが全期間を通して環境基準の5mg/l以下の低い値で推移し、底層でも6~11mg/lの低い値で推移し、全地点における最もSSの低い地点であった。また、ヒシの繁茂していた高木沖（非覆砂）の表層・中層でも、SSが全期間を通して概ね環境基準の5mg/lを越えない程度の低い値で推移した。



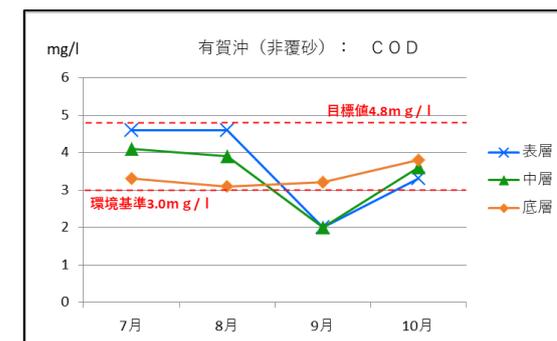
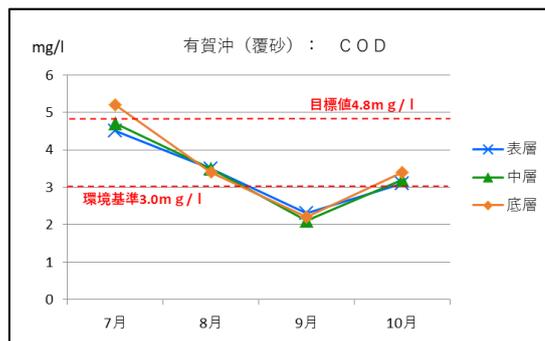
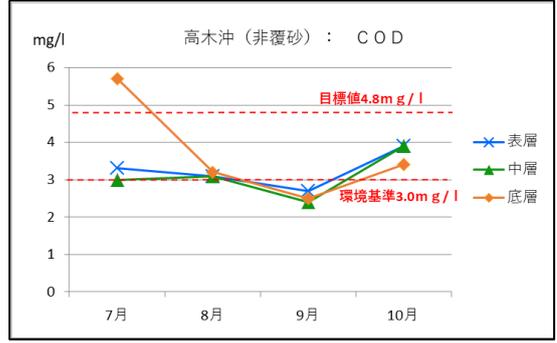
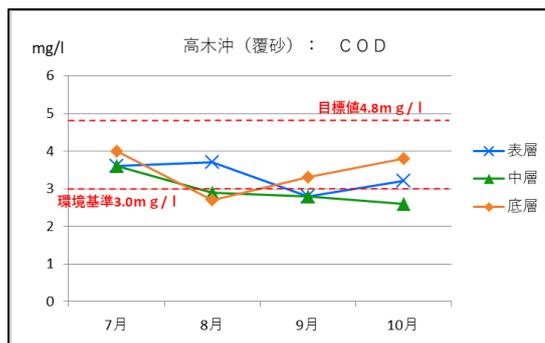
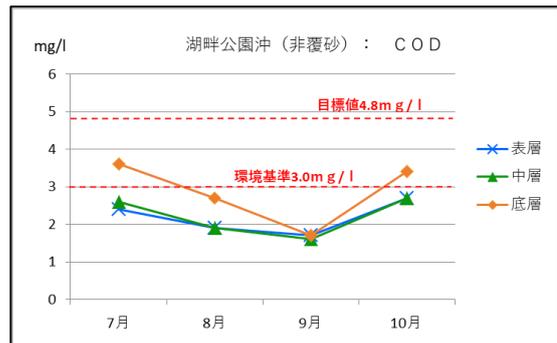
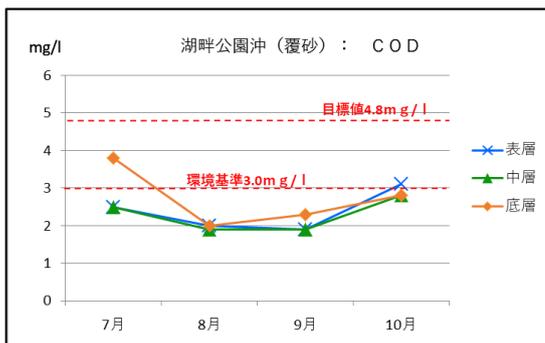
⑤クロロフィル a

季節的変動特性として8月にクロロフィル a の低い傾向が見られた。本年度は8月に豪雨・長雨があり、その影響もあったものと思われる。秋になるとクロロフィル a が徐々に高くなったが、このような変動は最近の諏訪湖における特徴的傾向でもあり、本年度は10月になり上昇が顕著になった。調査地点別の特徴として、有賀沖では覆砂の有無に関係なく7月にクロロフィル a が際立って高かった。その要因としては、有賀沖（非覆砂）ではヒシが繁茂していたとはいっても植被率が90%であり、浮葉の間から太陽光が水中に差し込む余地があったとともに、ヒシの繁茂などにより水温が上がり易い中で、ジュンサイハムシの食害により水中に窒素や特にリンが供給され易い状況があったためではないかと思われる。また、その変動の波形も覆砂箇所と非覆砂箇所と近似していた。ヒシの繁茂状況等から考えて、覆砂箇所と非覆砂箇所との間で水の移動がある程度可能であり、近似した水質になったのではないかと思われる。一方で、水面でヒシの繁茂していた8月の有賀沖（非覆砂）ではクロロフィル a が低く、7~9月の高木沖（非覆砂）も7月の底層を除くとクロロフィル a が低かった。また、水中でクロモの繁茂していた7~10月の高木沖（覆砂）もクロロフィル a が低く、8月の有賀沖（覆砂）も、クロモの成長に伴い水中全体での植被率が高かった時期であり、クロロフィル a が低かった。



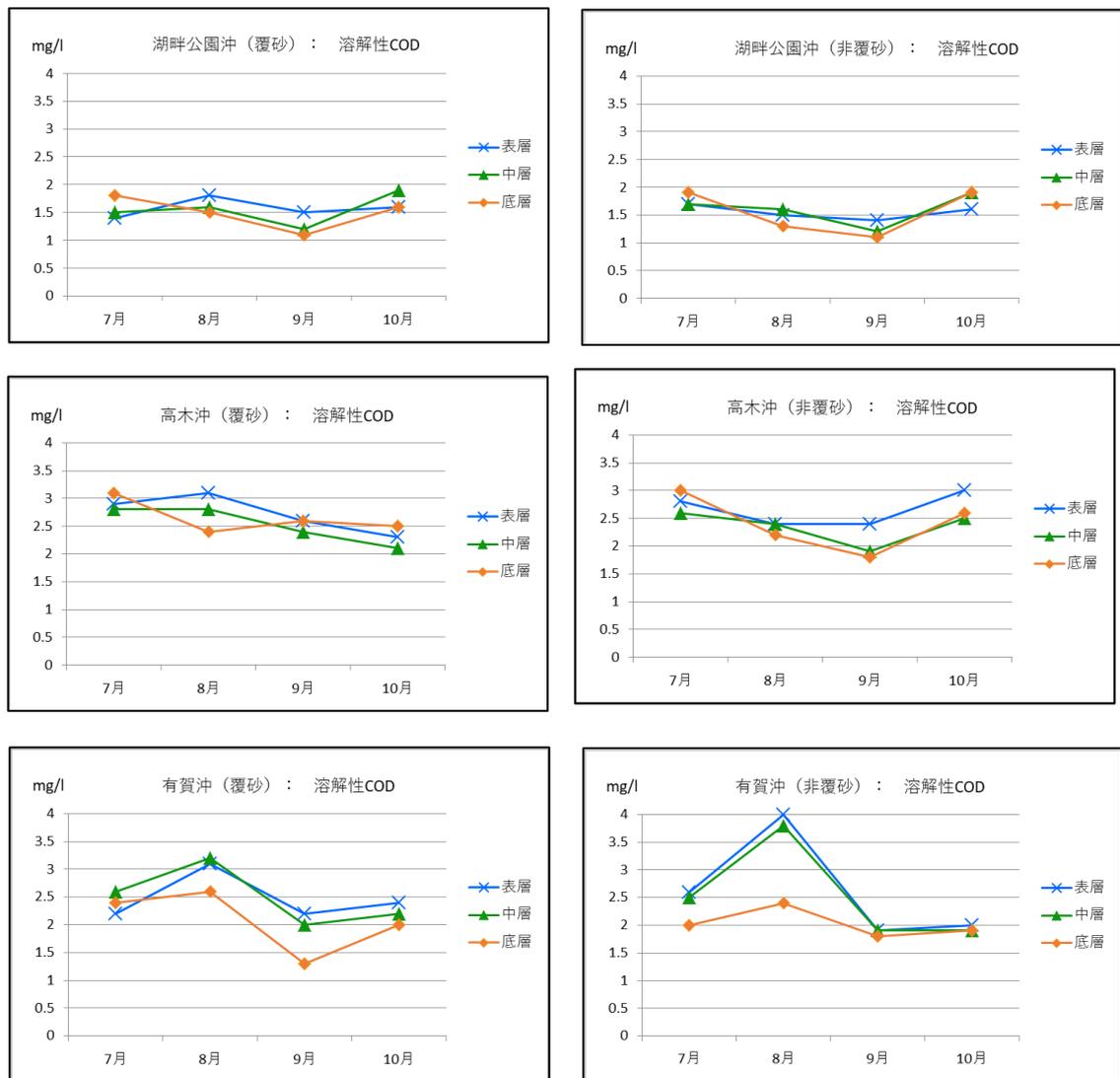
⑥COD（化学的酸素要求量）

水草の貧弱であった湖畔公園沖のCODは、覆砂の有無に関係なく底層を除き概ね環境基準以下で低く推移した。しかし、その他の地点におけるCODは、9月を除き概ね環境基準以上に高くなった。CODが高くなる要因のひとつに植物プランクトン量の増加があるが、8月の有賀沖では覆砂の有無に関係なくクロロフィルaが低いにもかかわらず、特に有賀沖（非覆砂）ではCODも低くはならなかった。植物プランクトン量の増加以外にCODを高くする要因があるものと考えられるが、この時期にジュンサイハムシの幼虫が多く見られたことから、ヒシの浮葉が食べられて糞となった有機質が水中に多量に供給された可能性が考えられる。また、10月になると沈降したヒシの葉が分解する過程でCODを高くしているものと考えられる。一方で、ヒシのあまり繁茂しなかった高木沖（覆砂）ではクロモが繁茂していた。クロモはある程度繁茂すると、湖底付近の十分に陽光の差し込まない部分の葉は順次腐っていくので、この腐った葉もCODを高くしているものと考えられる。適度に水草があることは一般的にはCODを高めない効果があると言われているが、一定の限度を超えての水草の存在は、水草の分解過程などにおいてCODを高くする可能性があると思われる。また、水草の貧弱であった湖畔公園沖では、表層・中層と比較して底層でCODが高い傾向が見られ、底層にCODを高くする有機質などが溜まり易かったものと思われる。



⑦溶解性COD (d-COD)

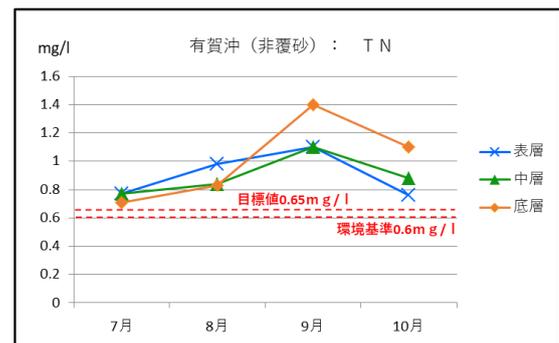
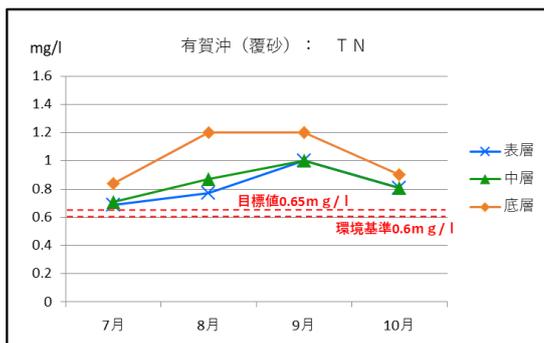
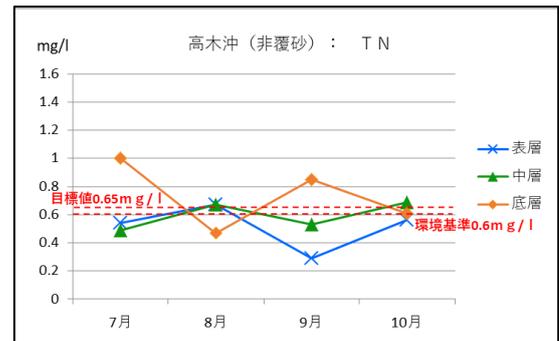
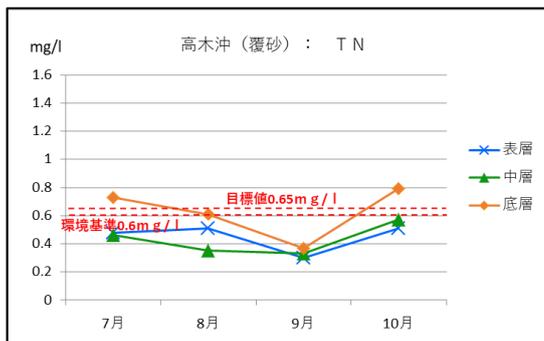
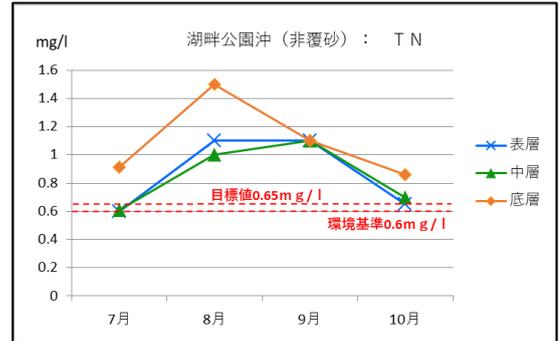
8月～10月の溶解性CODの季節的変動の波形は、湖畔公園沖及び高木沖では覆砂の有無に係らず概ねCODの季節的変動の波形に近似している。一方で、有賀沖ではCODの季節的変動の波形と比較し、8月に溶解性CODの値が高く、特に有賀沖（非覆砂）の表層・中層の値が著しく高くなった。この時期にジュンサイハムシの幼虫が多く見られたことから、ヒシの浮葉が食べられ糞となった有機質が水中に多量に供給された可能性が考えられ、底層と比較して特に表層・中層の値が著しく高くなったこともそれを裏付けるひとつの根拠のように思われる。



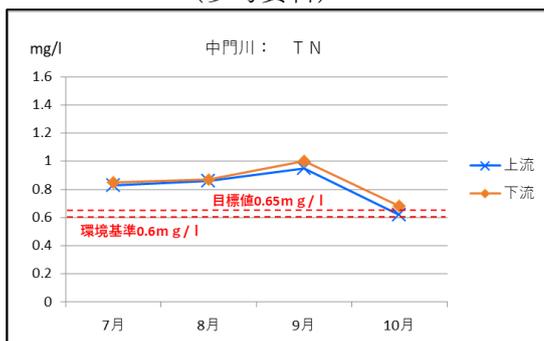
⑧TN (全窒素)

高木沖（覆砂）の表層・中層のTNは、7～10月の全期間において環境基準の0.6mg/l以下で低く推移した。高木沖（非覆砂）の表層・中層のTNも、7～10月の全期間において概ね目標値の0.65mg/l以下でやや低く推移した。高木沖（覆砂）はクロモが繁茂していた場所であり、高木沖（非覆砂）もヒシが繁茂していた場所であり、どちらも水草が繁茂していた。参考資料として示した上川の分流である中門川上流付近のTNの値と比較すると、ヒシの枯れ始めた10月の高木沖（非覆砂）を除き、水草が繁茂していた高木沖の方がTNの値が低い。中門川は諏訪湖における最大の流入河川である上川の分流に当たるため、諏訪湖へ流入する概ねの水質を示すものと考えられることから、諏訪湖への流入直後の水質に対し、繁茂する水草が高木沖のTNの低下

に大きな影響を与えているように思われる。一方で、有賀沖では覆砂の有無に関係なく表層・中層のTNが、参考資料として示した中門川上流付近の7~10月のTNの推移に近似し、9月に最も高くなった。有賀沖は新川の河口付近に位置し、上川や中門川の河口からは離れているものの、流入河川の大まかなTNとの関連性を見る上では参考になると考えられるが、両者の7~10月のTNの推移が近似していることから、有賀沖のTNは流入河川のTNの影響を受け易いのではないかとと思われる。湖畔公園沖では覆砂の有無に関係なく、7月の表層・中層のTNは中門川のTNより低いものの、8~9月は目標値を大幅に超え、9月をピークにして中門川のTNより高く推移した。湖畔公園沖特有のTNを高くする要因があるものと考えられる。

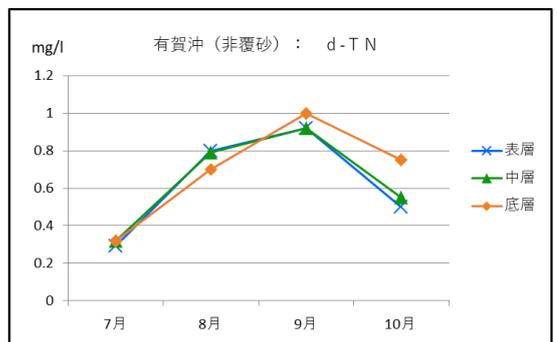
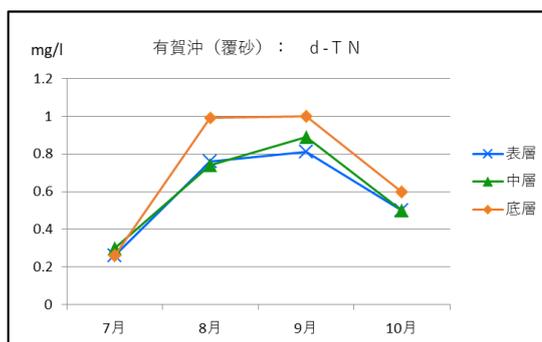
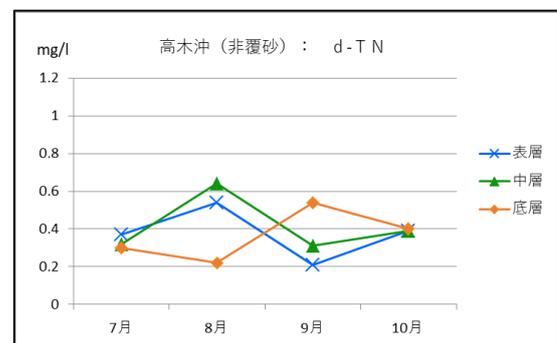
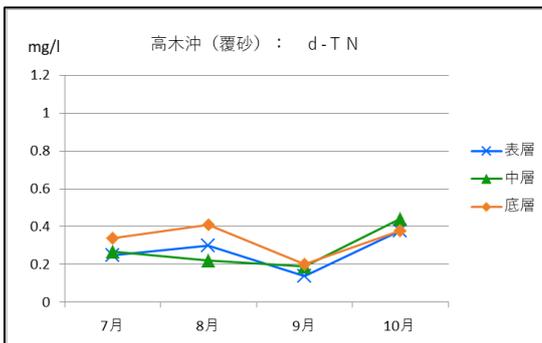
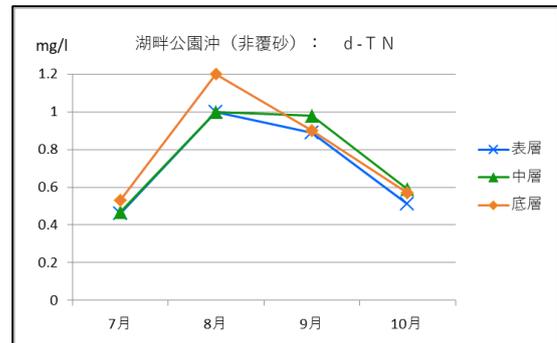
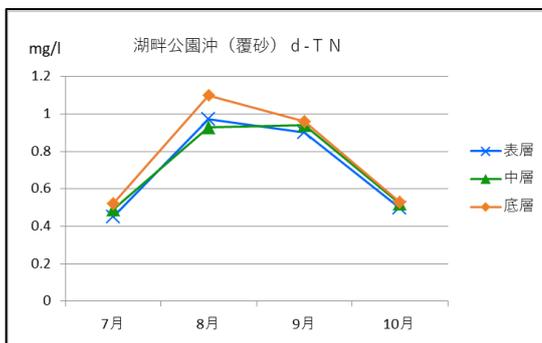


(参考資料)

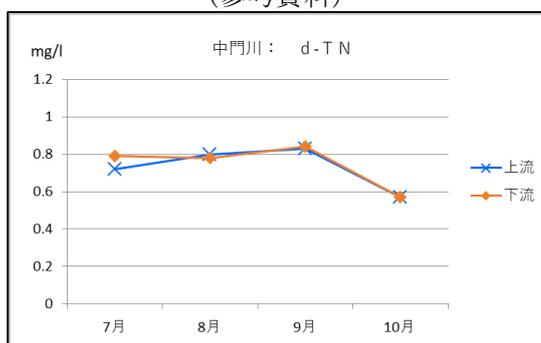


⑨ d-TN (溶存態全窒素)

7月のd-TNは、いずれの地点・階層ともに中門川のd-TNより低かったが、8~9月は湖畔公園沖では覆砂の有無に関係なく中門川のd-TNより高くなり、有賀沖では覆砂の有無に関係なく中門川のd-TNと概ね同じ高さになった。水草が特に繁茂していた高木沖では覆砂の有無に関係なく中門川のd-TNより低く推移した。そして、10月にはいずれの地点・階層ともに概ね中門川のd-TNの値に近づいた。高木沖のd-TNが中門川のd-TNより低く推移したのはクロモヤヒシなどの水草による消費が考えられる。7月にいずれの地点・階層ともに中門川のd-TNより低かったことも、水草による消費が考えられ、それが全地点に及んだのは、諏訪湖内の水の移動がある程度スムーズに行えるような状態にあったためではないかと考えられる。ただし、湖畔公園沖で8~9月に中門川のd-TNより高く推移した要因は不明であり、湖畔公園沖特有のd-TNを高くする要因があるものと考えられる。

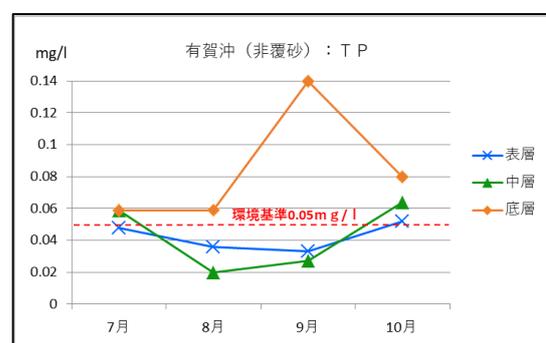
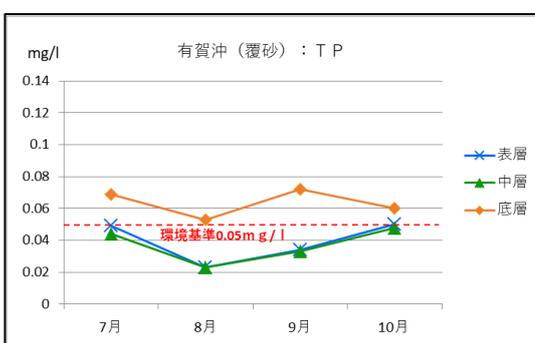
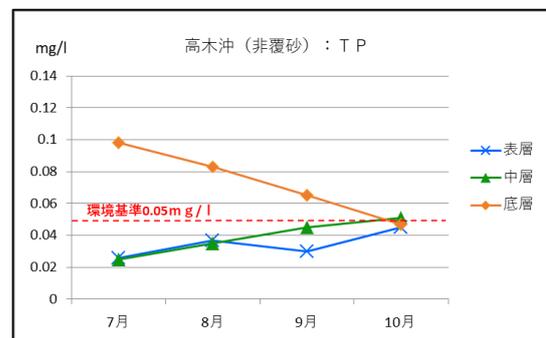
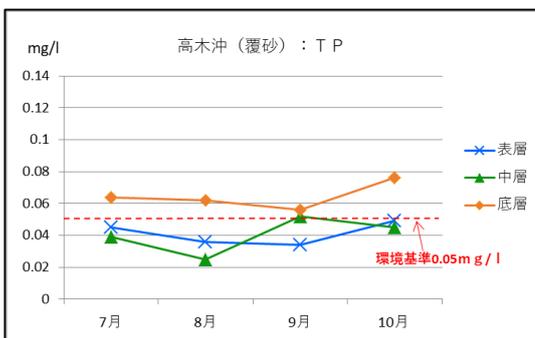
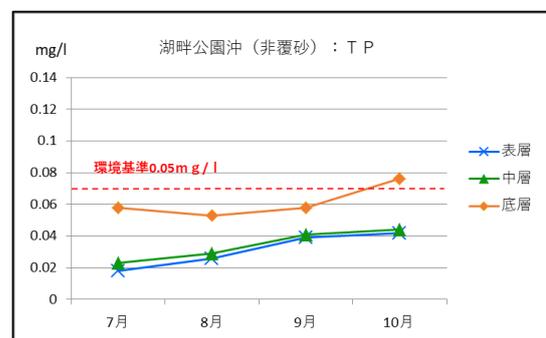
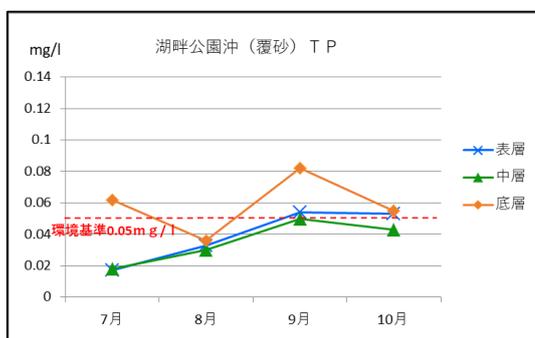


(参考資料)

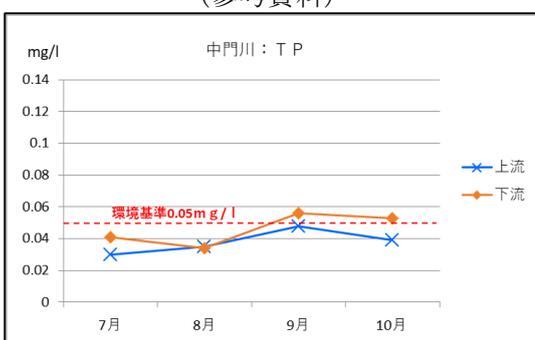


⑩TP (全リン)

湖畔公園沖 (覆砂) の9~10月の表層及び有賀沖 (非覆砂) の7月と10月の中層を除く、すべての地点・時期における表層・中層のTPは概ね環境基準を満たした。なお、底層でリンが高くなるのは、リンが沈降し易いためであると考えられる。わずかではあるが9~10月の表層のTPが環境基準を超えた湖畔公園沖 (覆砂) では、川砂を覆砂材料として使用しているの、その川砂のリン含有量が高いとこのような結果になることがある。有賀沖 (非覆砂) の7月及び10月の中層のTPが環境基準を超えた要因については不明である。水深のやや深い湖畔公園沖 (覆砂)、湖畔公園沖 (非覆砂)、高木沖 (非覆砂) における7月の表層・中層のTPが特に低いのは、調査の前の大雨の有無、調査時及び直前の強風の有無、及びヒシ繁茂の有無の影響により湖水に成層が形成されていたためではないかと思われる。なお、参考資料の中門川下流における9~10月のTPが高いのは、調査地点のすぐ下にある堰の堰板が外され、流速が増した影響が考えられる。

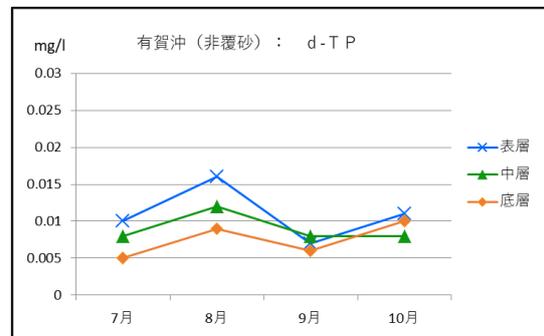
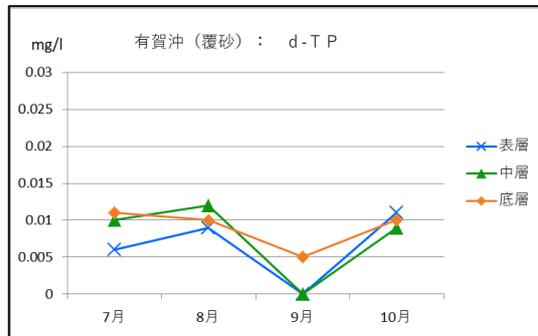
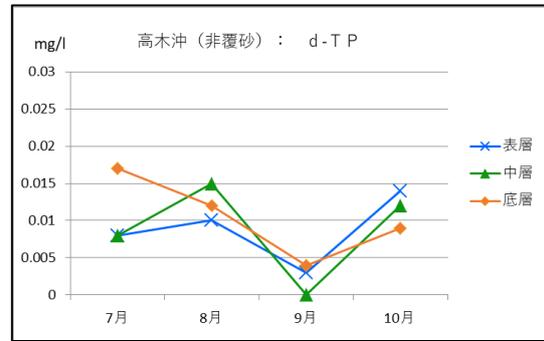
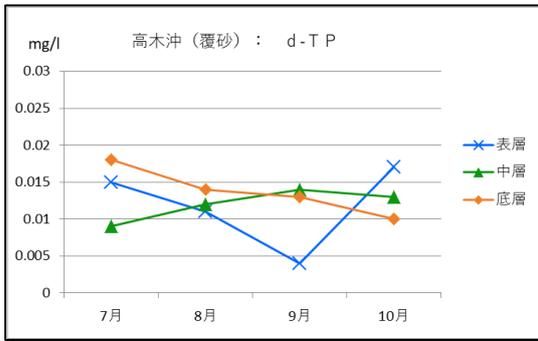
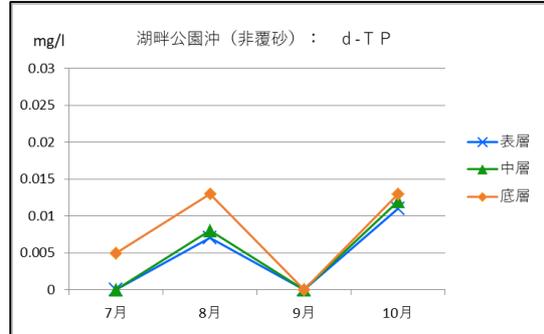
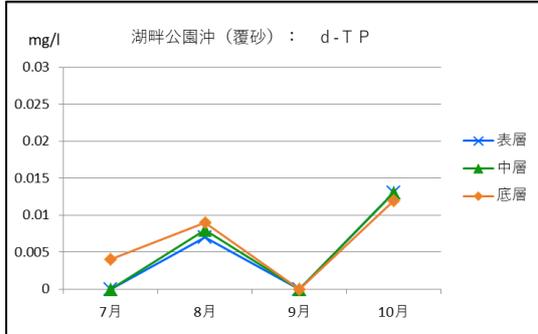


(参考資料)

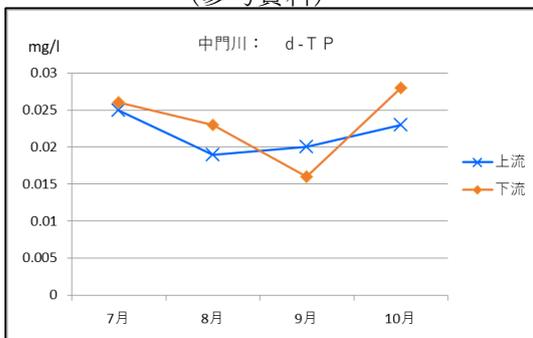


⑪ d-T P (溶存態全リン)

すべての地点・時期・階層において中門川より d-T P が低く、諏訪湖に流入する d-T P 以上に諏訪湖内で消費される d-T P の方が上回っていたものと思われる。それが、本年度の 7～10 月における植物プランクトン発生を少なくしていた要因のひとつとなっていたと思われる。なお、d-T P は T P のように顕著に底層で高くなる傾向は見られなかった。



(参考資料)



(2) 底質調査結果

含有試験による全窒素（TN）は、湖畔公園沖、高木沖及び有賀沖のいずれにおいても非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高く、顕著な季節変動はないように思われた。

含有試験による全リン（TP）も、湖畔公園沖、高木沖及び有賀沖のいずれにおいても非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高く、非覆砂箇所においては7月から10月にかけて高くなる傾向が見られたが、覆砂箇所では顕著な季節変動はないように思われた。

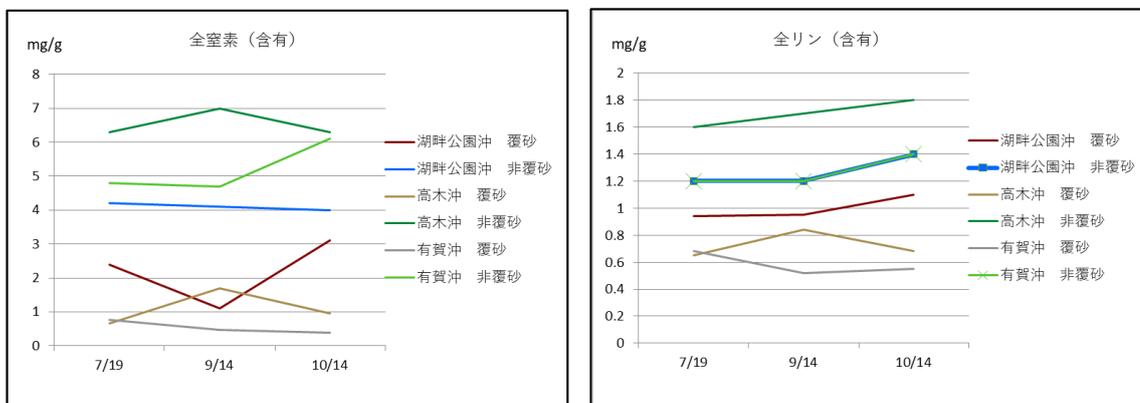


図2 底質分析結果（含有）

溶出試験による全窒素（TN）は、高木沖及び有賀沖で非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高い傾向が見られ、特に10月は著しく非覆砂箇所が高かった。一方で、湖畔公園沖では覆砂箇所が非覆砂箇所より全窒素（TN）が高い傾向が見られ、10月にそれが顕著になった。

溶出試験による全リン（TP）は高木沖及び有賀沖で7月は覆砂箇所が非覆砂箇所よりも高かったが、10月には非覆砂箇所が覆砂箇所よりも著しく高くなった。一方で、湖畔公園沖では非覆砂箇所が覆砂箇所より全リン（TP）が高い傾向が見られ、7月と10月にそれが顕著であった。季節変動として、全リン（TP）は7月から9月に一旦低下する傾向が見られたが、その後10月にはすべての地点で上昇した。

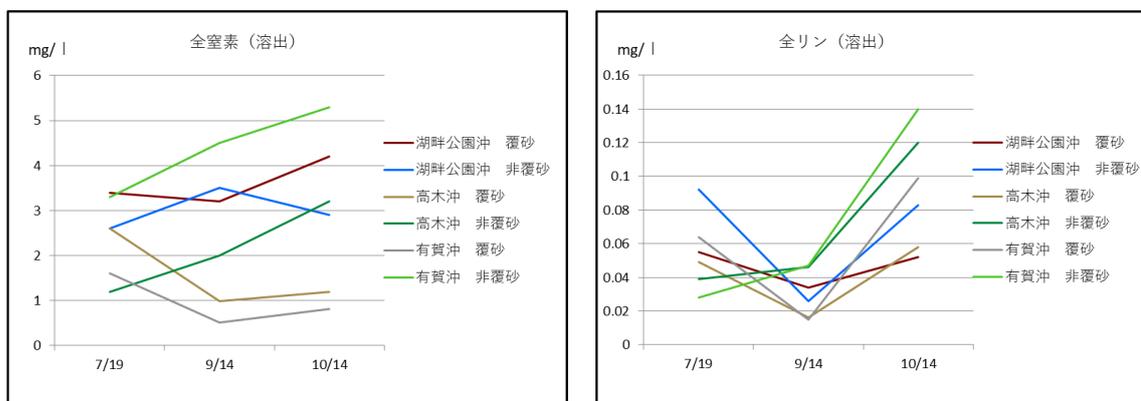


図3 底質分析結果（溶出）

(3) 水草調査結果

①確認種（水草のフローラ）の特徴（表2参照）

- ・全体で4科8種の水草が確認され、その中の2種は切れ藻であった。
- ・確認種の中でコオニビシ、クロモ、ホソバミズヒキモ（水中葉）、センニンモ、マツモの5種と、流れ藻のセキショウモ、ヒロハノエビモの2種、計7種は重要種であり、ヒシ以外はすべて重要種であった。
- ・覆砂箇所における確認種数は、覆砂後の年数を経過するに従い多くなり、湖畔公園（覆砂）が2種、高木沖（覆砂）が4種、有賀沖（覆砂）が5種であった。また、重要種数も覆砂後の年数を経過するに従い多くなり、湖畔公園（覆砂）が1種、高木沖（覆砂）が3種、有賀沖（覆砂）が4種であった。以上から、覆砂直後は一時的に確認種数及び重要種数が減少するが、その後は非覆砂箇所よりも増加していくと思われる。
- ・非覆砂箇所における確認種数は、覆砂後の年数を経過しても3種と変わりなく、重要種数も、覆砂後の年数を経過しても2種と変わらなかった。
- ・覆砂箇所及び非覆砂箇所を合わせた地区（各沖）ごとの流れ藻を除く確認種数は、覆砂後の年数を経過するに従い多くなり、湖畔公園が3種、高木沖が4種、有賀沖が5種であった。また、切れ藻を除く重要種数も覆砂後の年数を経過するに従い多くなり、湖畔公園が2種、高木沖が3種、有賀沖が4種であった。以上から、覆砂直後は一時的に確認種数及び重要種数が減少することもあるが、その後は覆砂箇所の確認種数及び重要種数の増加が、非覆砂箇所を合わせた地区（各沖）ごとの確認種数及び重要種数も増加させていると考えられる。

表2 現地確認水生植物リスト

No	生態的区分	科名	和名	種名(学名)	湖畔公園沖		高木沖		有賀沖		他 Bゾーンの浅瀬	重要種		備考
					覆砂	非覆砂	覆砂	非覆砂	覆砂	非覆砂		環境省R/L	長野県R/L	
1	浮葉植物	ヒシ	ヒシ	<i>Trapa japonica</i>	●	●	●	●	●	●	●			イボビシ含む
2			コオニビシ	<i>Trapa natans</i> var. <i>pumila</i>			●	●	●				CR	
3	沈水植物	トチカガミ	クロモ	<i>Hydrilla verticillata</i>	●	●	●	●	●	●	●		CR	
4			セキショウモ	<i>Vallisneria asiatica</i>						△	●		EN	
5		ヒルムシロ	ホソバミズヒキモ(沈水葉)	<i>Potamogeton octandrus</i>					●				NT	
6			センニンモ	<i>Potamogeton maackianus</i>		●								EN
7	ヒロハノエビモ		<i>Potamogeton perfoliatus</i>						△	●			VU	
8	浮遊植物	マツモ	マツモ	<i>Ceratophyllum demersum</i>			●		●	●			EN	
重要種数計					1	2	3	2	4	2(4)		0	7	
在来種数計					2	3	4	3	5	3(5)		7		
全体 4科8種					2	3	4	3	5	3(5)				
確認種数計					3	4	4	3	5	5(7)				

注1: は重要種を示す。

注2: △ は流れ藻または切れ藻のみの確認を示し、カッコ内の数字は流れ藻または切れ藻を含む種数を示す。

② 調査地点別水生植物の生育状況とその特性

ヒシの植被率が低かった有賀沖及び高木沖の覆砂箇所では水中でクロモが生育するようになり、ヒシの植被率の低い状態が継続すると、時間経過とともに水中でクロモが繁茂するようになった。ただし、高木沖の覆砂箇所のように短期間でクロモの植被率が極めて高くなると、ヒシの繁茂を多少なりとも抑制する効果があるかもしれない。一方で、有賀沖の覆砂箇所を確認されたホソバミズヒキモのような他の沈水植物の生育も困難にし、種の多様性を高めづらくすると考えられる。覆砂によりヒシの繁茂を抑制することは、種の多様性を高めるうえで有効であると考えられるが、ヒシに変わってクロモが必要以上に繁茂する状態になることも、種の多様性を高めていくうえでの阻害要因になっていくものと考えられる。なお、高木沖（覆砂）でクロモの植被率が極めて高くなった要因として、有賀沖（覆砂）とは異なり覆砂範囲の形状が帯状であるとともに、覆砂を行わない周辺部との高低差が少なく、覆砂範囲に粘性土が堆積し易くなったことなどが影響しているものと考えられる。

表3 水草調査結果の概要

No.	科名	種名	湖畔公園沖 (R2度覆砂)				湖畔公園沖 (非覆砂)				高木沖 (R元年度覆砂)				高木沖 (非覆砂)				有賀沖 (H30年度覆砂)				有賀沖 (非覆砂)				環境省 R L	長野県 R L	外来種	
			7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月				
1	マツモ	マツモ																												EN
2	ヒシ	ヒシ	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
3	トチカガミ	クロモ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				CR
4		セキシウモ																								△				EN
5	ヒルムシロ	ホソバミズヒキモ																	●	●										NT
6		センニンモ					●	●																						EN
7		ヒロハノエビモ																								△				VU
地点・調査時期別確認種数			2	2	1	1	1	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	1	2	0	6	0	
地点・調査時期別確認種数			2				2				2 (3)				2				3 (4)				2 (5)							

注1: ●: 湖底から生えている植物体、△: 浮遊植物(マツモ)、流れ藻または切れ葉を確認

注2: RLカテゴリー凡例 CR: 絶滅危惧 I A類、EN: 絶滅危惧 I B類、VU: 絶滅危惧 II 類、NT: 準絶滅危惧

注3: ヒシの水面の植被率 100~75%(密) 74~25%(中) 24~5%(疎) 4~1%(僅か~稀)

注4: クロモの水中の植被率 100~75%(密) 74~25%(中) 24~5%(疎) 4~1%(僅か~稀)

注5: 上表のヒシは、ヒシとイボビシに重要種のコオニビシを含む(浮葉のみでは識別困難、種子で識別可能)

湖畔公園沖（非覆砂）は、水深が3m以上で深いこともあり、ヒシが生育していなかったが、センニンモが確認された。過年の調査においもセンニンモが確認されたのはヒシの植被率の低い場所であった。センニンモは沈水植物の中では深い場所まで生育できるため、ヒシが生育困難になるような深い場所でも生育可能であり、本調査では湖畔公園沖（非覆砂）で確認されたと考えられる。以上から、ヒシ刈りを実施しなくてもヒシの植被率の低い深い場所は、センニンモが生育する可能性のある場所であると考えられる。

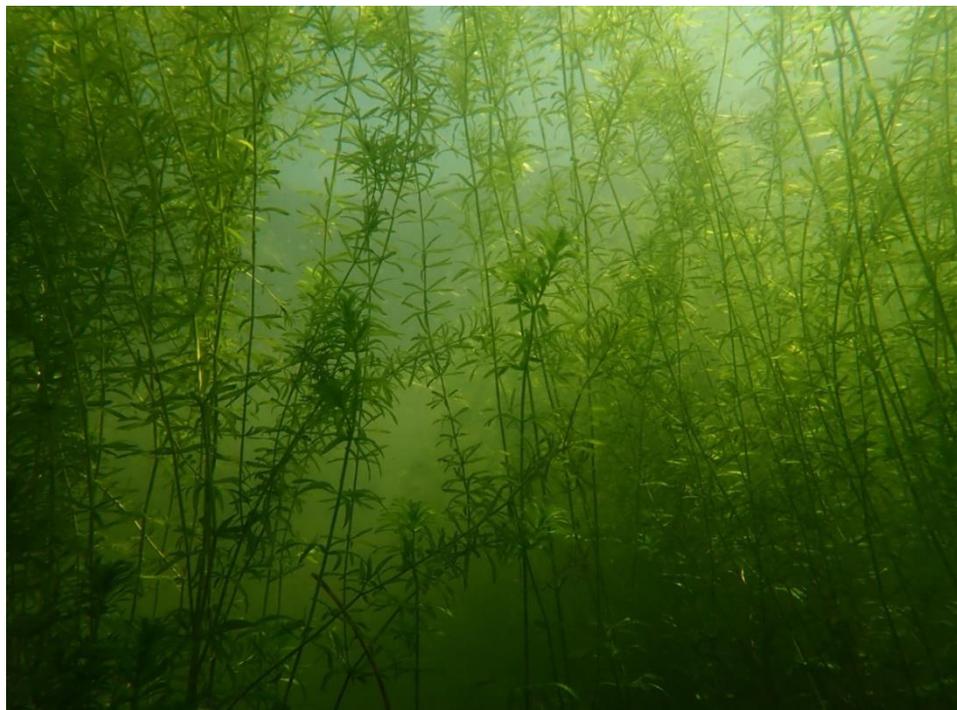
ホソバミズヒキモは、有賀沖（覆砂）のみで確認された。クロモの植被率が高木沖（覆砂）と比較して低く、覆砂によりヒシの繁茂が抑制されている中で、クロモ以外の沈水植物が生育できる余地があったためと考えられる。覆砂方法として、有賀沖（覆砂）は大面積で方形に覆砂を行い、覆砂を行わない周辺部より湖底を高くする際に高低差を十分確保したため、覆砂範囲に粘性土が堆積しづらかったことなどが影響していると考えられる。

一方で、有賀沖（非覆砂）ではセキシウモとヒロハノエビモの流れ藻が確認された。隣接する有賀沖（覆砂）より湖底標高が低いために流れ藻がたどり着き易かったと考えられる。同時に、

付近にセキショウモやヒロハノエビモの繁茂する浅瀬があり、流れ藻がたどり着き易い位置関係にあったことも重要になると考えられる。以上から、水生植物の回復を進めていくにあたり、覆砂箇所だけで考えるのではなく、覆砂箇所とその周辺の非覆砂範囲の関係に、種の供給場所となるような水生植物の良好な生育地も加えた3者の関係で考えていくべきであると考え。そして、流れ藻がたどり着いた先でヒシやクロモの繁茂がある程度抑制されて、根のある流れ藻が湖底に定着するか、根元付近まである流れ藻が発根して湖底に定着していけば、分布域が拡大していくと考えられる。



ヒシの茎と水中葉（高木沖（非覆砂）にて 2021.8.28 撮影）



繁茂するクロモ（重要種、高木沖（覆砂）にて 2021.8.28 撮影）



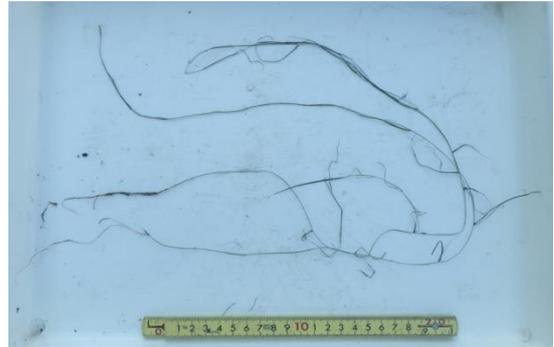
コオニビシの種子（重要種、
高木沖（非覆砂）にて 2021.7.19 採取）



水中のセンニンモ（重要種、
湖畔公園沖（非覆砂）にて 2021.8.28 撮影）



引き上げ後のセンニンモ（重要種、
湖畔公園（非覆砂）にて 2021.8.28 撮影）



ホソバミズヒキモ（重要種、
有賀沖（覆砂）にて 2021.7.19 撮影）



水中のマツモ（重要種、
有賀沖（覆砂）にて 2021.9.14 撮影）



引き上げ後のマツモ（重要種、
有賀沖（覆砂）にて 2021.9.14 撮影）



セキシヨウモ（重要種）の流れ藻
（有賀沖（非覆砂）にて 2021.10.14 撮影）



ヒロハノエビモ（重要種）の流れ藻
（有賀沖（非覆砂）にて 2021.10.14 撮影）

(4) 水草分析結果

ヒシの葉・茎、クロモともに乾燥重量当たりの全窒素、全リンが7月に最も高い傾向が見られた。ヒシの乾燥重量当たりの全炭素については、8月に最も高く、その後低下するものの10月に再び高くなっている。そもそもヒシは10月にほとんど腐ってなくなってしまうなかで、生き残っている個体を採取したため、10月に再び高くなったのかもしれない。クロモは乾燥重量当たりの全炭素が8月に最も高くなり、その後は10月まで低下していった。

乾燥重量当たりの全窒素、全リンは全期間クロモがヒシより高く、全炭素は全期間ヒシがクロモより高かった。

ヒシの茎の乾燥重量当たりのC/Nは10月に最も高く、クロモの乾燥重量当たりのC/Nは9月に最も高かった。

C/Nが20以下の有機物は一般に分解が速いと言われおり、クロモ及びヒシの葉は分解が速く、特にクロモは分解が速いと考えられる。なお、ヒシの茎及び根は葉と比較すると分解が遅いと考えられる。

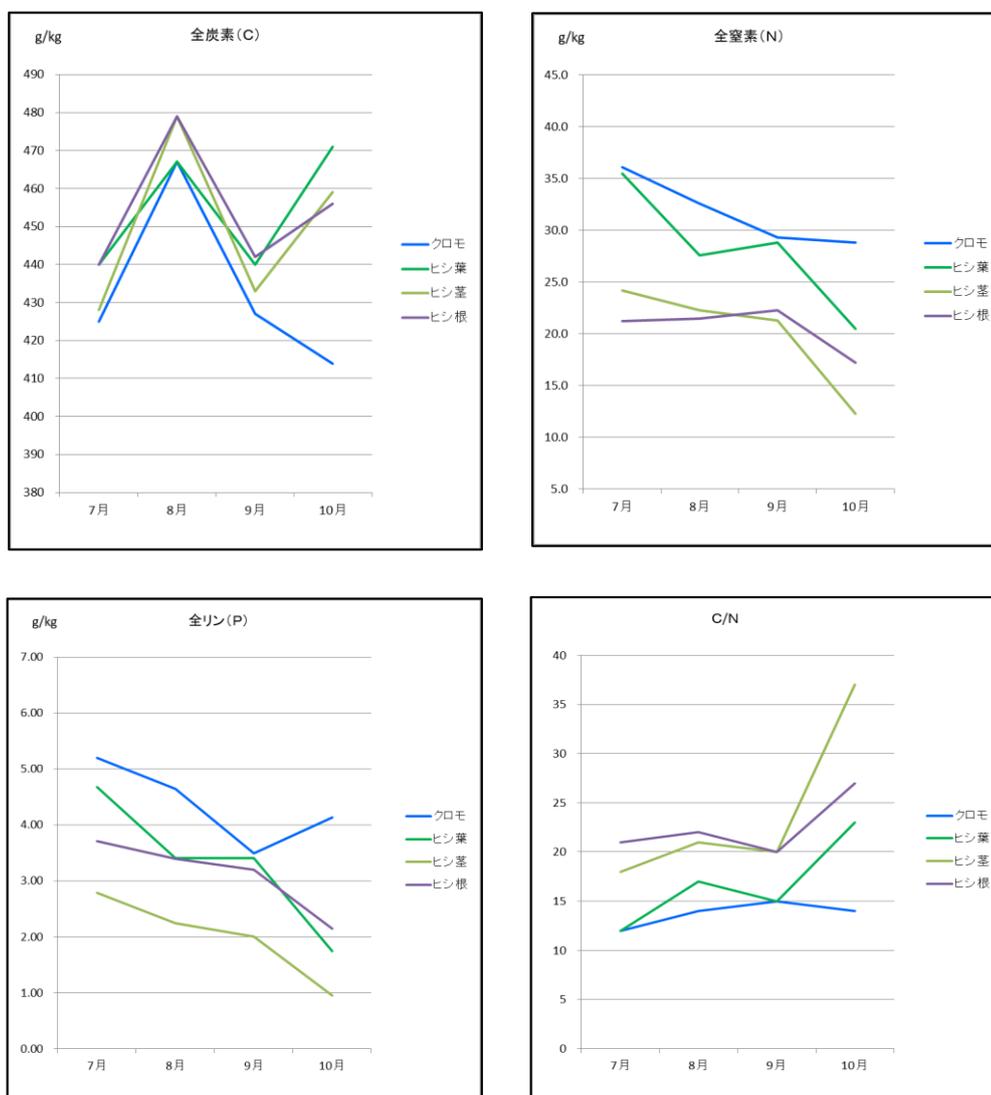


図4 水草分析結果 (乾燥重量当たり)

ヒシ刈りを行う場合湿潤重量が重要になるが、特にヒシの葉は湿潤重量当たりの全炭素、全窒素、全リンが7月に最も高くなり、全炭素、全窒素はその後低下していったが、全リンは8月に最も下がった後再度上昇していった。

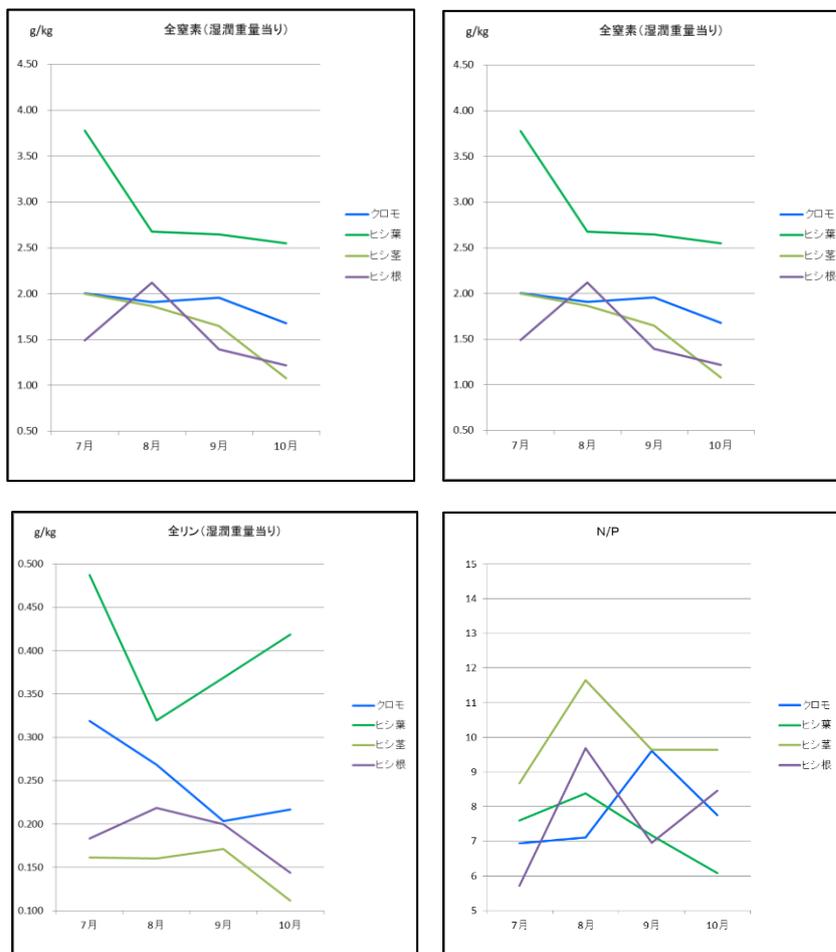


図5 水草分析結果（湿潤重量当たり）

水分についてはヒシよりクロモの方が多く、ヒシの中では葉が水分の少ない部位であった。ヒシの葉及びクロモは7月に最も水分の割合（重量比）が高く、7月のクロモは重量比で95%以上が水分であった。

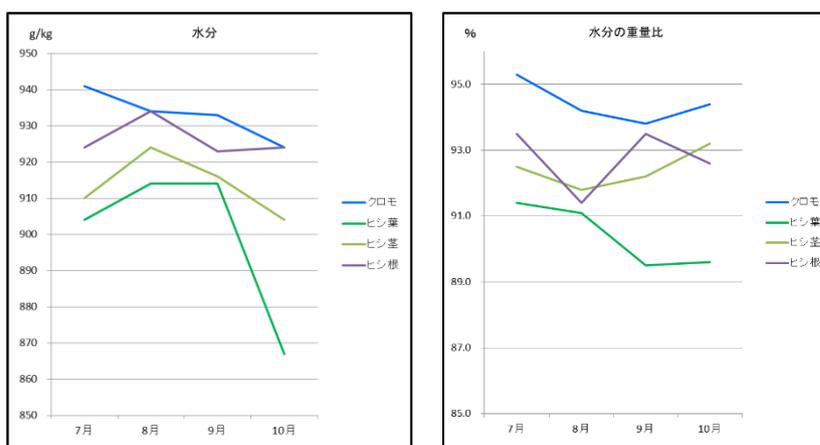


図6 水草分析結果（水分）

(5) 過年度調査結果との比較

①高木沖（覆砂箇所：H28～R1-ヒシ刈り有、R1-覆砂工事、非覆砂箇所：ヒシ刈り無し）

COD（化学的酸素要求量）については、令和1年度に覆砂工事の行われた高木沖（覆砂）で工事中の9月に突出して高くなったものの、その後は環境基準の3mg/l（グラフ中の赤線）の前後の工事前より低い状態で安定し推移している。覆砂工事による改善が見られるように思われる。一方で、高木沖（非覆砂）は覆砂工事もヒシ刈りも行われていない場所であるが、年々僅かずつ低下傾向にあるように思われる。

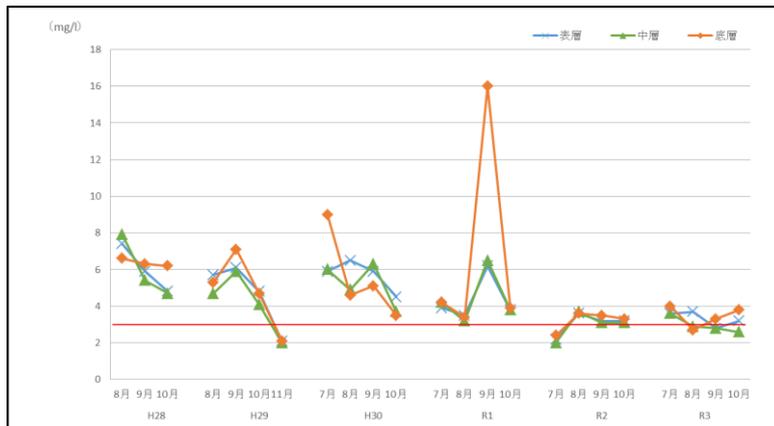


図7 高木沖（覆砂・COD）

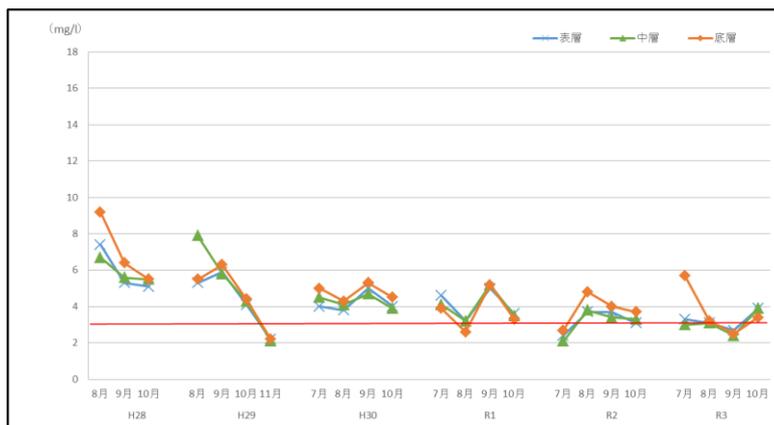


図8 高木沖（非覆砂・COD）

TN（全窒素）についても、覆砂工事後は改善傾向にあるように思われ、R2年の高木沖（覆砂）の表層・中層は環境基準の0.6mg/l（グラフ中の赤線）以下で推移した。覆砂箇所と非覆砂箇所での違いは、覆砂工事の行われたR1年の9月の覆砂箇所の底層は例外とし、R2年にはほとんどなかったが、R3年の覆砂箇所の表層・中層において非覆砂箇所より良好となった。

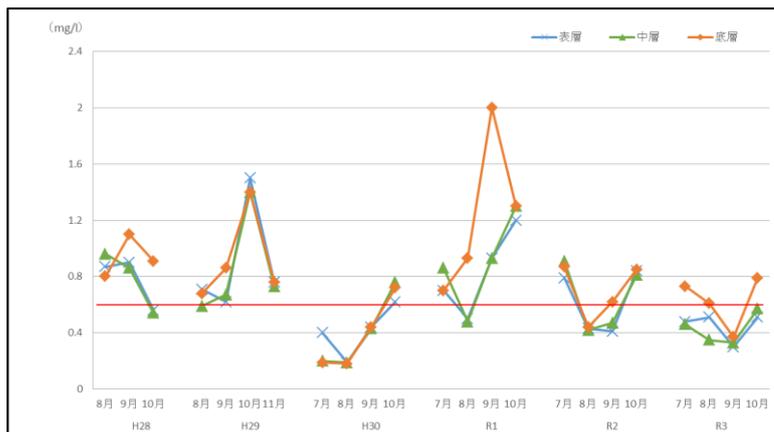


図9 高木沖（覆砂・TN）

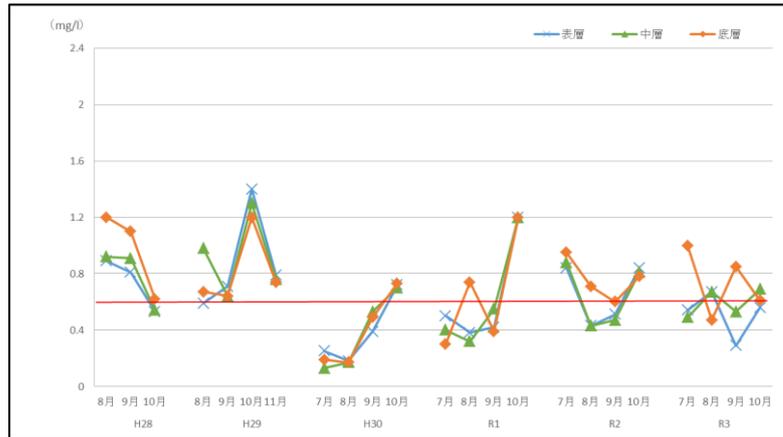


図 10 高木沖（非覆砂・TN）

TP（全リン）についても、年を経過するにつれてやや改善傾向にあるように思われ、高木沖（覆砂）のR2～R3年の表層・中層は環境基準の0.05mg/l（グラフ中の赤線）以下で推移した。また、覆砂工事の行われたR1年の9月の覆砂箇所の底層は例外とし、覆砂箇所と非覆砂箇所での顕著な違いはないように思われる。ただし、R3年の7～9月は底層だけではあるが、非覆砂箇所の方が環境基準を超えて高くなり、特に7～8月が高かった。

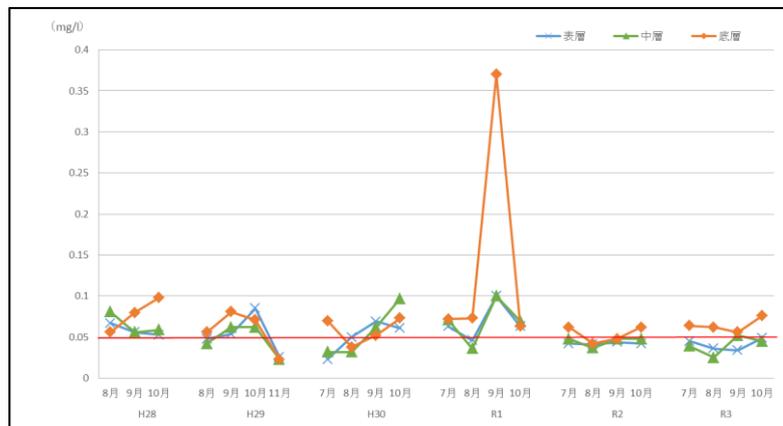


図 11 高木沖（覆砂・TP）

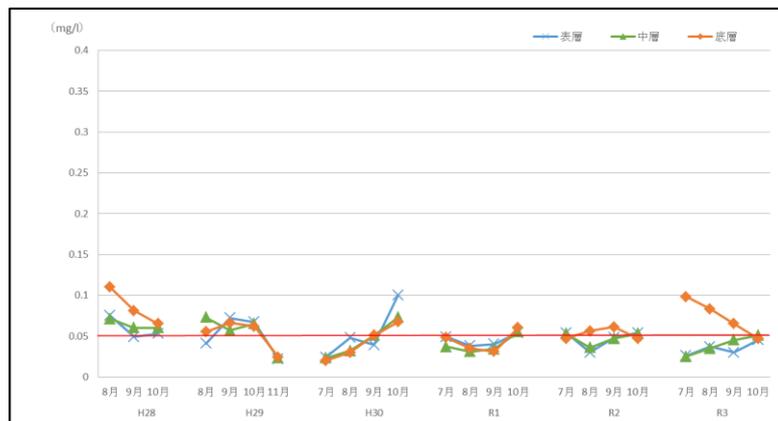


図 12 高木沖（非覆砂・TP）

DO（溶存酸素量）については、これまでヒシ刈りを行ってこなかった非覆砂箇所ではH28年をピークにしてDOの悪化傾向があるように思われる。その要因については不明である。一方で、H28年からR1年までヒシ刈りを行った覆砂箇所では、覆砂工事を行ったR1年までは悪化傾向があるように思われるが、覆砂工事の翌年のR2年にはDOの改善傾向が見られた。ただし、R3年にはクロモが繁茂するようになり、9～10月には底層とともに表層・中層でも環境基準の7.5mg/l（グラフ中の赤線）より大幅に低下した。なお、9～10月はクロモなどの水草が枯れ始めた時期に当たる。R3年に非覆砂箇所でも表層・中層のDOが最も低下したのも、ヒシが枯れ始めた時期に当たる。



図 13 高木沖（覆砂・DO）

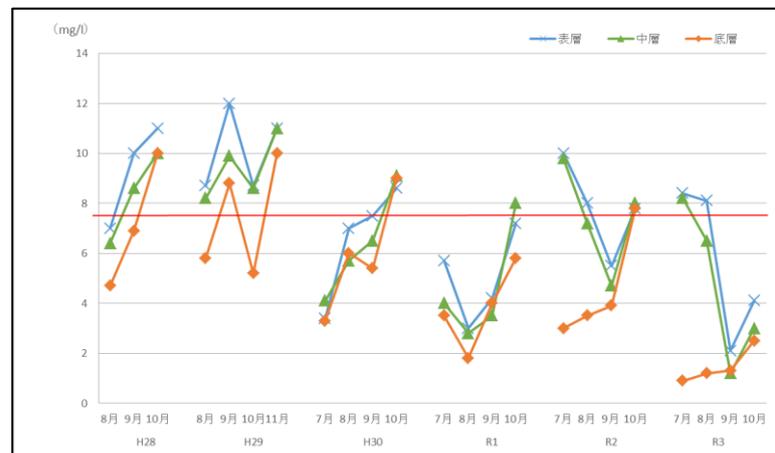


図 14 高木沖（非覆砂・DO）

②有賀沖（覆砂箇所：R1までヒシ刈り有、H30-覆砂工事、非覆砂箇所：ヒシ刈り無し）

COD（化学的酸素要求量）については、覆砂箇所は水質調査を行うようになったR1年と比較し改善傾向にあるように思われる。ただし、R2年の7月やR3年の9月などのように環境基準の3.0mg/l（グラフ中の赤線）以下に低下することは少なく、環境基準を満たさない月の方が多い。非覆砂箇所はR2年にはR1年と比較して少し改善されたように思われたが、その後の顕著な変化はないように思われる。

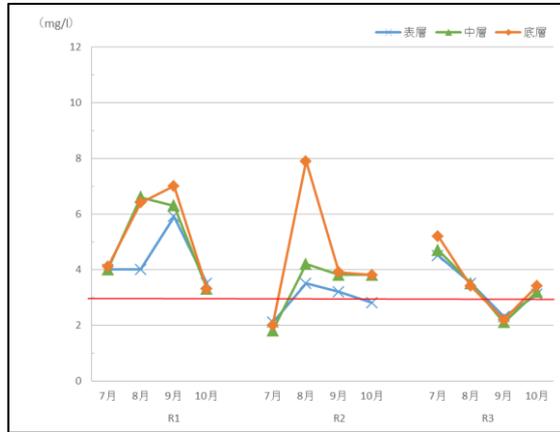


図 15 有賀沖（覆砂・COD）

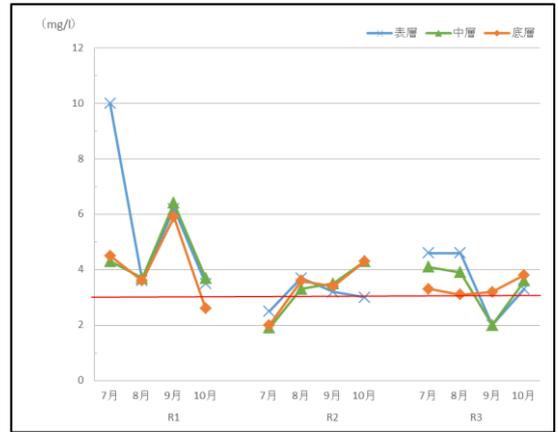


図 16 有賀沖（非覆砂・COD）

TN（全窒素）についても、覆砂箇所、非覆砂箇所ともに水質調査を行うようになったR1年と比較してR2年には僅かに改善傾向が見られたものの、R3年に僅かに悪化してR1年の状態に戻ったようにも思われ、R3年は覆砂箇所、非覆砂箇所ともに環境基準の0.6mg/l（グラフ中の赤線）以下になることはなかった。ただし、過去3年間で特に大きな変動はないようにも思われる。

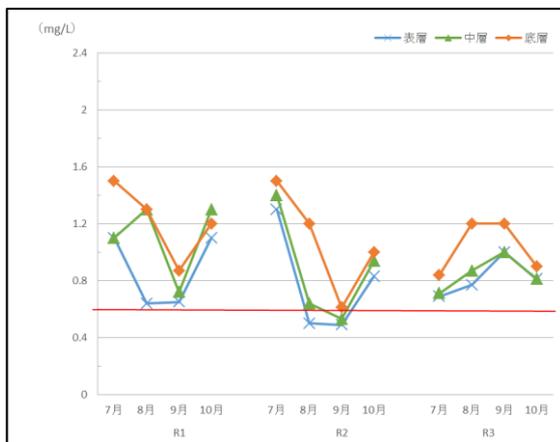


図 17 有賀沖（覆砂・TN）

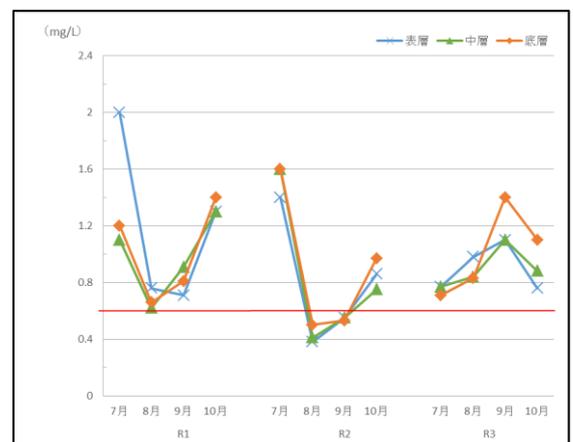


図 18 有賀沖（非覆砂・TN）

TP（全リン）については、覆砂箇所の表層・中層でR2～R3年に環境基準の0.05mg/l（グラフ中の赤線）以下で推移し、水質調査を行うようになったR1年と比較しやや改善傾向にあると思われる。非覆砂箇所では表層・中層でR2年に環境基準以下となり前年と比較し改善が見られものの、R3年には中層で7月及び10月に環境基準を超え、底層でも7～10月に環境基準を超えて推移した。

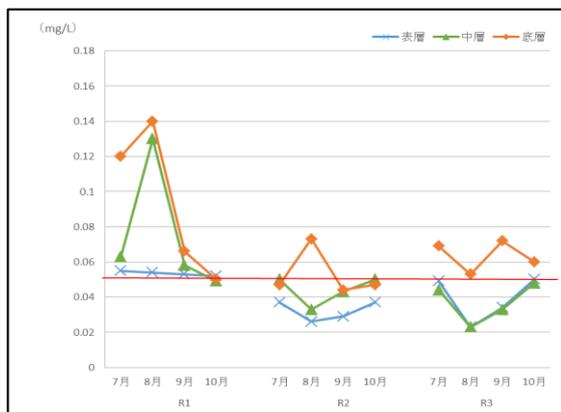


図 19 有賀沖（覆砂・TP）

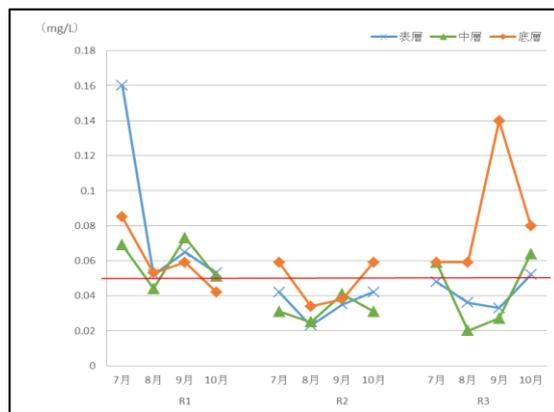


図 20 有賀沖（非覆砂・TP）

DO（溶存酸素量）については、覆砂箇所では水質調査を行うようになったR1年以後概ね環境基準の7.5mg/l（グラフ中の赤線）以上で推移してきたが、R3年には8～10月に底層で環境基準以下に低下した。非覆砂箇所では全体として覆砂箇所よりDOが低い傾向が見られるものの、R1年及びR2年の7月のように、表層におけるDOが覆砂箇所より高くなることもある。

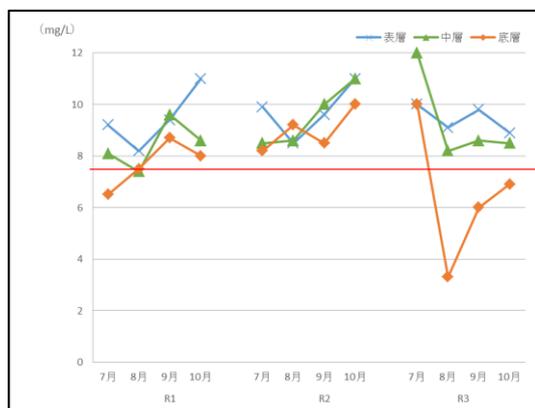


図 21 有賀沖（覆砂・DO）

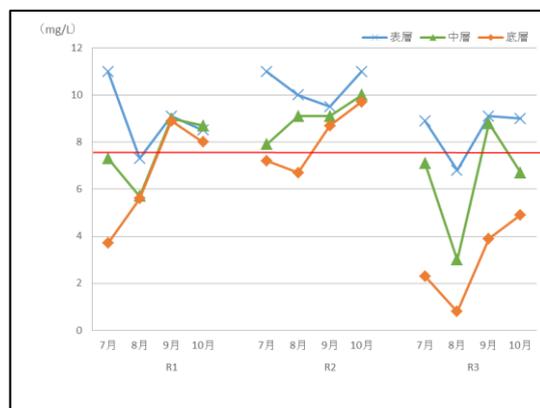


図 22 有賀沖（非覆砂・DO）

(6) 考察

諏訪湖の水質は、調査の地点、時期、水深（表層・中層・底層）により様々であるとともに、水質の階層構造も場所により様々であるが、H28年以後の概況としてやや改善傾向にあるように思われる。これまで行ってきたヒシ刈りや覆砂工事に伴うヒシやクロモなどの水草の有無や種類、底質の変化、さらにはヒシの葉を食うジュンサイハムシの多量発生などがこのような水質特性に影響を与えているものと考えられる。そして、有機態及び無機態の窒素やリン等が水中、植物の体内、底質中を、量と時期を変えながら循環している状況が徐々にではあるが見えてきた。

諏訪湖の水草に関しても、ヒシ刈りや覆砂工事を行うことによりヒシの繁茂が抑制されて、クロモなどの沈水植物が生育・繁茂するようになる状況が確認された。また、ヒシ刈りを行わなくてもヒシの葉を食うジュンサイハムシにより水面を覆っていたヒシの植被率がわずかに低下し、クロモなどの沈水植物が生育し易くなった状況も確認された。ただし、沈水植物であるクロモが繁茂し過ぎると、それが腐る過程でCODを高くしている可能性があることも示唆された。水草においても多様性が高いことが重要であり、湖畔公園沖や有賀沖のようにクロモ以外にもホソバミズヒキモ、マツモ、センニンモなどの多種の水草が確認された場所もある。

以上から、ヒシ刈りや覆砂工事が進められる中で、湖底環境の多様性が徐々に高まり、水質もやや改善傾向にあるように思われるなかで、ヒシ刈りや覆砂工事を行わなかった周辺の場所も含めて、諏訪湖全体としての水草の多様性が徐々にではあるが高まりつつあるように思われる。

第5章 ワカサギの資源量調査

水産試験場諏訪支場

5.1. 調査目的

諏訪湖のワカサギ資源の保護培養を図るため、諏訪湖におけるワカサギの資源尾数推定および成長等の調査を実施した。

5.2. 調査方法

5.2.1. 資源量調査

令和3年6月～12月に月1回、魚群探知機（以下、魚探）によるワカサギの資源尾数推定調査を実施した。魚探は、FUSO エレクトロニクス（株）製 FEG-1041GPS 魚探 1kw ハイスペックを使用した。調査開始時刻は、日中、ワカサギは群れで生活しているため、単体で行動を始める日没後1時間以降とした。調査定線は、諏訪湖を十字に横断するように設定した（図1）。調査中の魚探の画像は、BMP形式ファイルで保存し、後日パソコンにデータを移し変えて、魚の反応像を計数した（図2）。過去の捕獲調査で、諏訪湖の沖合での魚探の反応像は、そのほとんどがワカサギであったことから、確認した反応像は全てワカサギと判断して計数した。諏訪湖全体のワカサギ資源尾数は、反応像計数値と探査容積から次の計算式により算出した。なお、探査容積 v は、図3に示す探査面積に探査距離を乗算する次の式より算出した。

$N = n \cdot V / v$ N : 推定資源尾数、 n : 反応像計数値、 V : 諏訪湖容積 (m^3)、 v : 探査容積 (m^3)

$v = \{ (\text{平均水深})^2 \times 3.14 \times 12/360 - 1^2 \times 3.14 \times 12/360 \} \times \text{探査距離}$

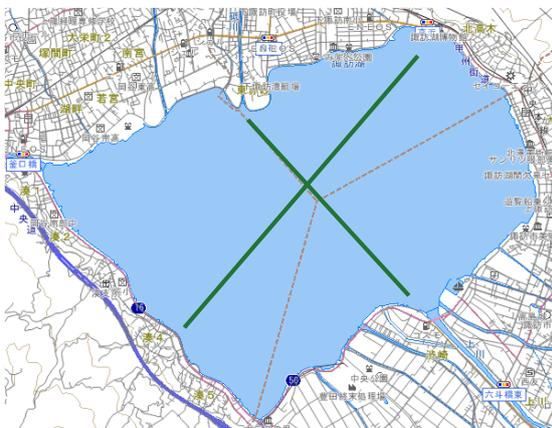


図1 資源量調査定線の位置

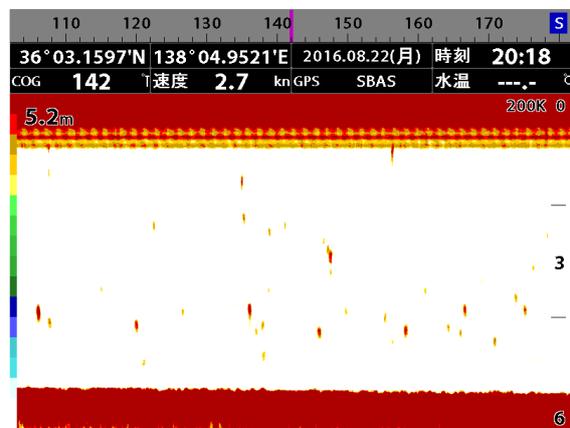


図2 魚群探知機の反応像

(赤や黄色で表示された点がワカサギの反応像)

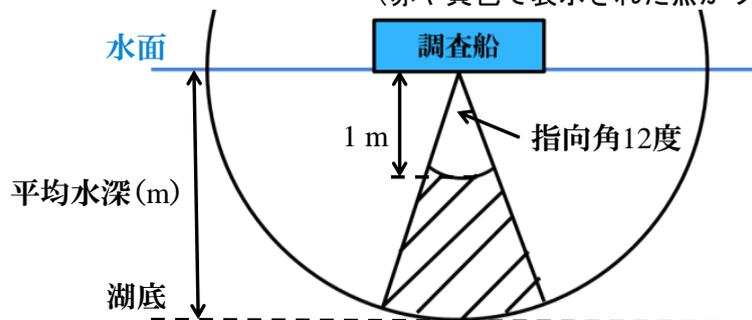


図3 探査面積の範囲

(図中の斜線部が探査面積、水深1mまではノイズが出るため、探査面積から除く)

5.2.2. 成長調査

令和3年7月から令和3年12月まで月1~2回、諏訪湖漁業協同組合の投網試験獲りの漁獲物を標本とし、0歳魚（小公）の体重、体長および肥満度を求めた。年齢査定は耳石輪紋の観察により行った。

5.3. 調査結果

5.3.1. 資源量調査

6月~11月の推定資源尾数は、約163~1,608万尾であった（図4）。なお、12月上旬に行った魚探調査はワカサギが湖内で局在していたため資源尾数の推定に至らなかった。ワカサギが成長し、魚探で捉えられる精度が上がる9月、10月の結果を過去5年間と比較すると、今年度の資源尾数は、平成28年度および令和元年度と近い値であった。

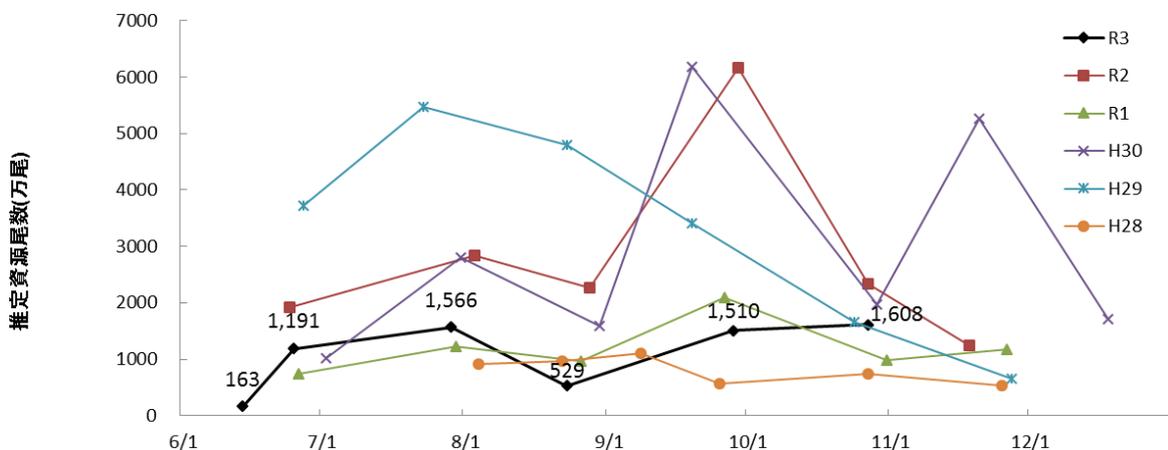


図4 平成28~令和3年の諏訪湖のワカサギ推定資源尾数

5.3.2. 成長調査

0歳魚の平均体重および平均体長は平成28年度と同程度に大きく、平均肥満度は過去5年間と比較して最も高い値であった（図5、図6、図7）。本年度の成長は平成28年度と同様に良好であった。本年度はワカサギの資源尾数が少なかったため、1尾当たりの摂餌量が増えたことにより、成長が良くなったと考えられる。

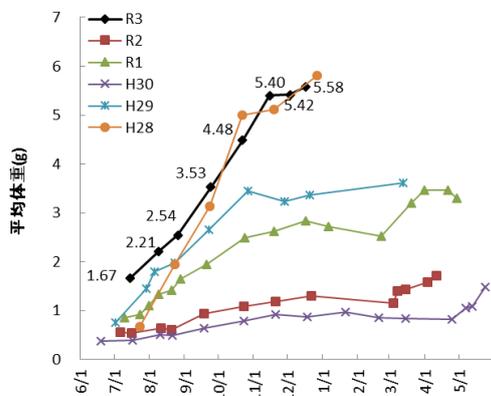


図5 ワカサギ0歳魚の平均体重

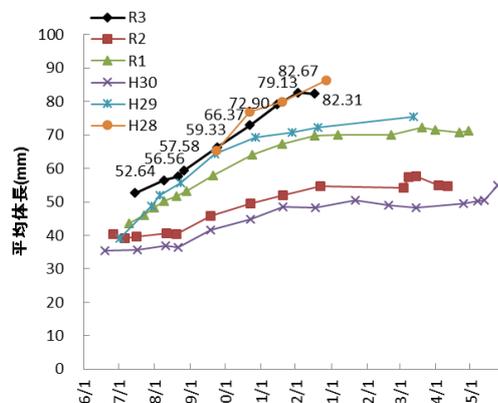


図6 ワカサギ0歳魚の平均体長

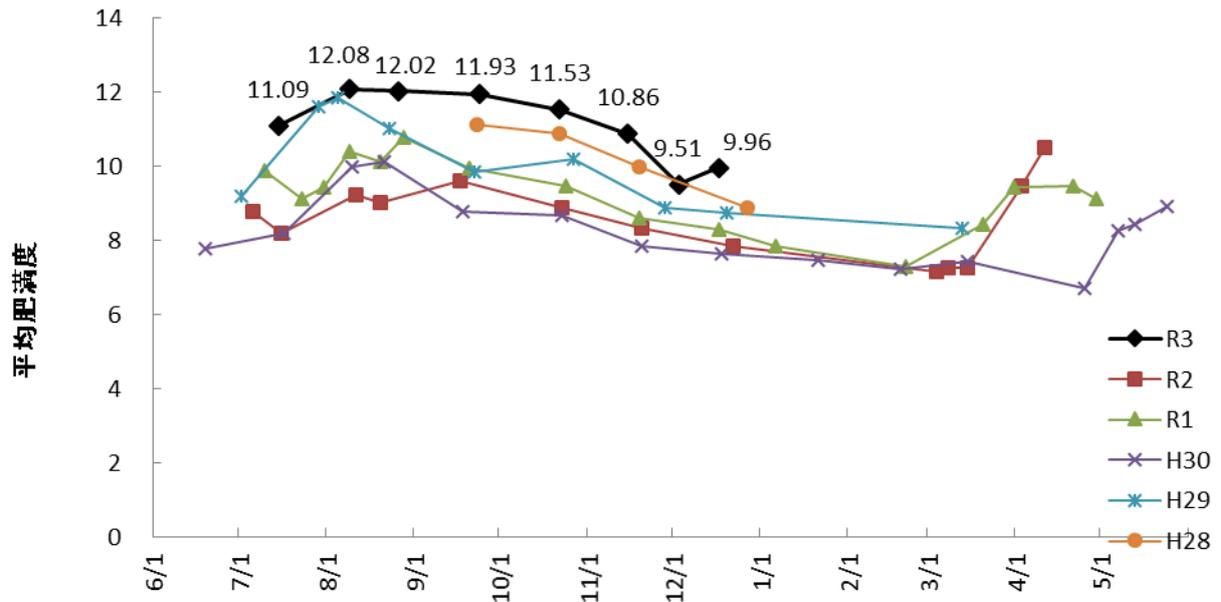


図7 ワカサギ0歳魚の平均肥満度

5.4. まとめ

- 6月～11月のワカサギの推定資源尾数は、約163～1,608万尾であった。
- 0歳魚（小公）の平均体重、平均体長および平均肥満度は、平成28年度と同程度に大きかった。

第6章 水生動植物調査

6.1. 諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査

水産試験場諏訪支場

6.1.1. 調査目的

諏訪湖の沿岸水域でヒシが異常繁殖し、水質や観光・漁業に問題が生じていることから、ヒシの刈り取り除去が行われている。効率的な除去を進めるため、ヒシ刈り船が導入され、平成24年の試験運行ののち、平成25年から本格的に稼働している。また、ヒシ刈り船の運航が困難な場所では、手刈りによるヒシ除去も行われている。

本調査では、ヒシの繁茂抑制と従来から生息している水生植物の再生方法を検討するため、ヒシの繁茂状況とその他の水生植物の分布の推移を把握する。

6.1.2. 調査内容

6.1.2.1. 範囲

諏訪湖の水深3m程度までの沿岸全域を調査範囲とした。

6.1.2.2. 実施日

過去の調査でヒシ繁茂面積が最大となっていた7月下旬から8月上旬に合わせて、令和3年8月3、4、5日に実施した。

6.1.2.3. 方法

6.1.2.3.1. ヒシの分布

船上からの目視調査で、株間距離によりヒシ群落をL(2m以上)、M(1~2m未満)、H(1m未満)の3段階の密度階級に分類し、それぞれの外縁の位置をGPSで計測した。得られた位置情報から国土交通省国土地理院が提供しているウェブサイト、地理院地図 <http://maps.gsi.go.jp> の作図機能を用いて、密度階級別の繁茂面積を求めた。

6.1.2.3.2. ヒシ以外の浮葉・沈水植物の分布

船上からの目視調査で観察された水生植物群落の外縁をGPSで計測した。また、単体の水生植物が観察された場合は、その位置を計測した。

6.1.3. 調査結果

6.1.3.1. ヒシの分布

平成24年以降の最大繁茂面積の経年変化を表1及び図1に示した。本年の調査時点での面積は167ha、刈り取り後の推定値は122haであった。刈り取り前の面積は令和2年と変化はなかった。繁茂面積の長期的な傾向は、隔年周期で増減を繰り返しながら減少していたが、平成30年以降微増が続いている。

表1 各年のヒシの繁茂面積と諏訪湖に占める割合

調査年	繁茂面積 (ha)	諏訪湖に 占める割合(%)
H24	172	13
H25	204	15
H26	166	12
H27	183	14
H28	156	12
H29	172	13
H30	163	12
R1	165	12
R2	167	13
R3	167	13

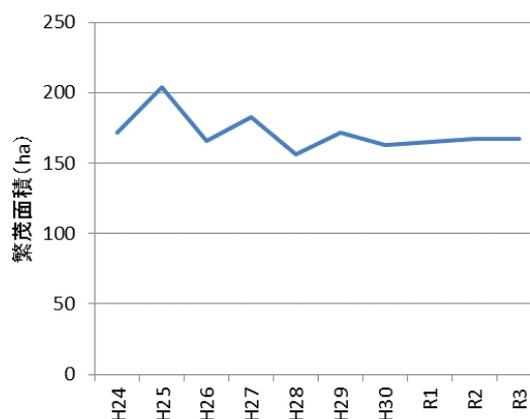


図1 ヒシの繁茂面積の経年変化

平成26年から本年までの密度階級別のヒシ繁茂面積とその割合を表2に示した。本年の密度階級L、M、Hの面積はそれぞれ22ha、27ha、74haであり、繁茂面積に占める割合はそれぞれ13%、16%、44%であった。また、本年のヒシ刈り取り面積は45haであり、その割合は繁茂面積の27%であった。

表2 ヒシの密度階級別繁茂面積

調査日	密度階級別面積(ha)						刈り取り		合計面積 (ha)
	L	(%)	M	(%)	H	(%)	面積(ha)	(%)	
H26.7.31、8.1	67	(40)	60	(36)	40	(24)			166
H27.8.10、11	62	(34)	50	(27)	71	(39)			183
H28.8.8、9	62	(40)	7	(4)	74	(47)	13	(8)	156
H29.7.25、26、28	49	(28)	14	(8)	103	(60)	6	(4)	172
H30.8.7	85	(52)	1	(0)	77	(47)			163
R1.8.6、7	22	(13)	8	(5)	135	(82)			165
R2.8.4、5	6	(3)	11	(6)	123	(74)	28	(17)	167
R3.8.3、4、5	22	(13)	27	(16)	74	(44)	45	(27)	167

※ 面積と比率は少数点以下1桁を四捨五入しているため、合計が合わない年がある。

平成 26 年から本年のヒシの密度分布図を図 2 に示した。本年の密度 H の範囲は、漕艇場内や上川河口などの一部を除き、諏訪湖の湖岸全周に渡って分布しており、大きな経年変化はなかった。諏訪湖北東岸の高浜から高木にかけての範囲では、ヒシの分布が沖まで広がっており、その張り出しの大小で、諏訪湖全体のヒシ繁茂は左右されていた。



図 2 ヒシの分布の経年変化

6.1.3.2. ヒシ以外の浮葉植物、沈水植物の分布

ヒシ以外の群落が確認された浮葉・沈水植物は、エビモ、クロモ、ササバモ、ヒロハノエビモ、ホソバミズヒキモ、セキショウモ、アサザの7種であった（図3）。エビモやクロモは、湖内各地に広く分布していた。ササバモ、ヒロハノエビモは豊田沖や上川河口を中心に、セキショウモ、ホソバミズヒキモは上川河口および豊田沖で確認された。上川河口と豊田沖とも水深が浅く、湖底が砂地になっており、ササバモなどの生息に適していると考えられる。アサザは豊田の岸際1箇所で見られた。

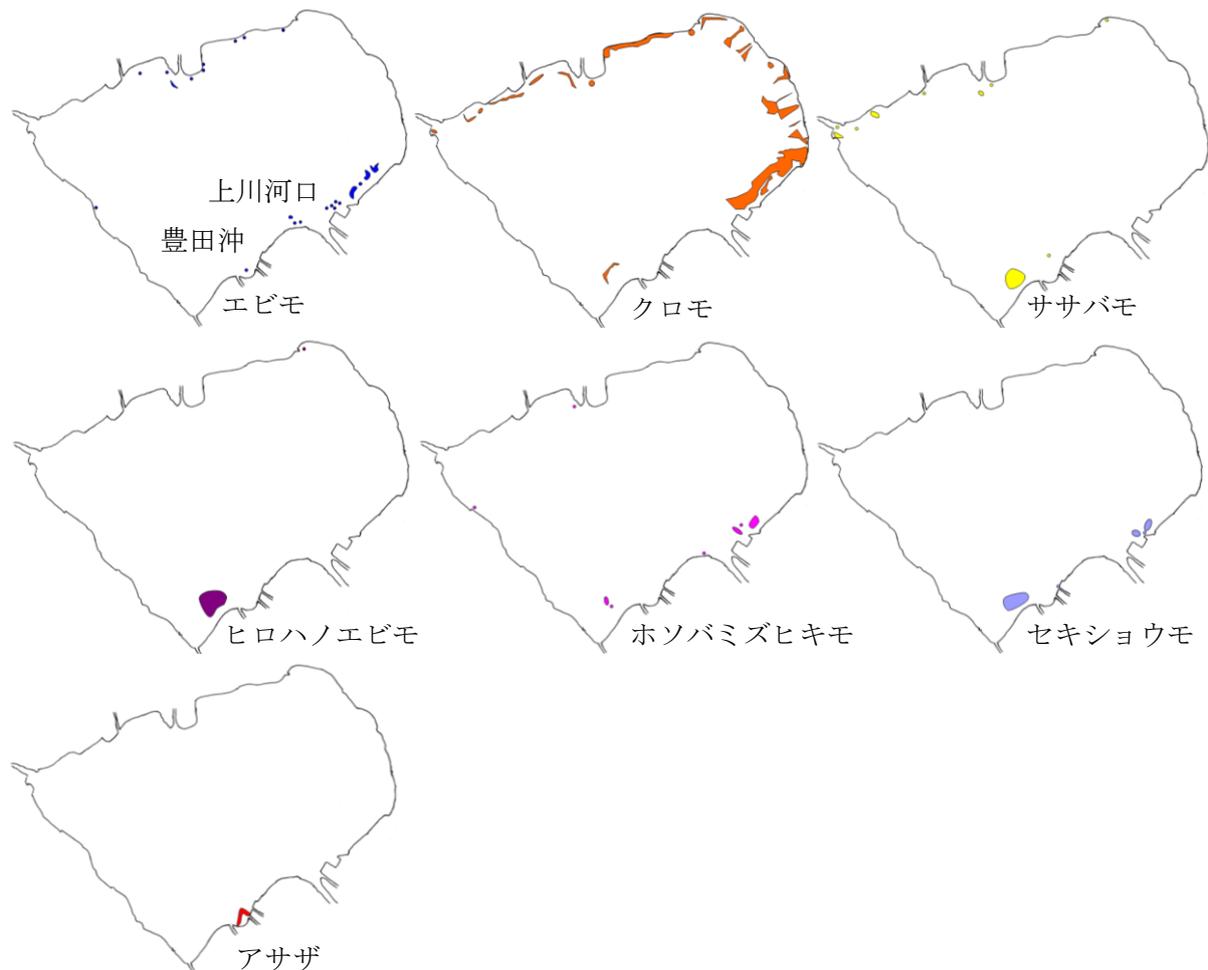


図3 令和2年のヒシ以外の浮葉・沈水植物分布

ヒシに次いで分布面積の大きい水生植物は、平成29年以降クロモであった（図4、表3）。調査時のクロモの分布面積は41haで、令和2年と比較して40%（27ha）減少した。ヒシ分布域の沖側や豊田沖、漕艇場内といったヒシが見られていない場所で生息が確認された。クロモの分布面積が減少した要因の一つに、調査期間中における透明度が低く、目視による確認が難しかったことから、過小評価されている可能性が考えられた。一方、平成28年以前ではヒシに次いで多かったエビモの分布は多くが点状であり、令和2年と比較してその面積は2haと微増した。

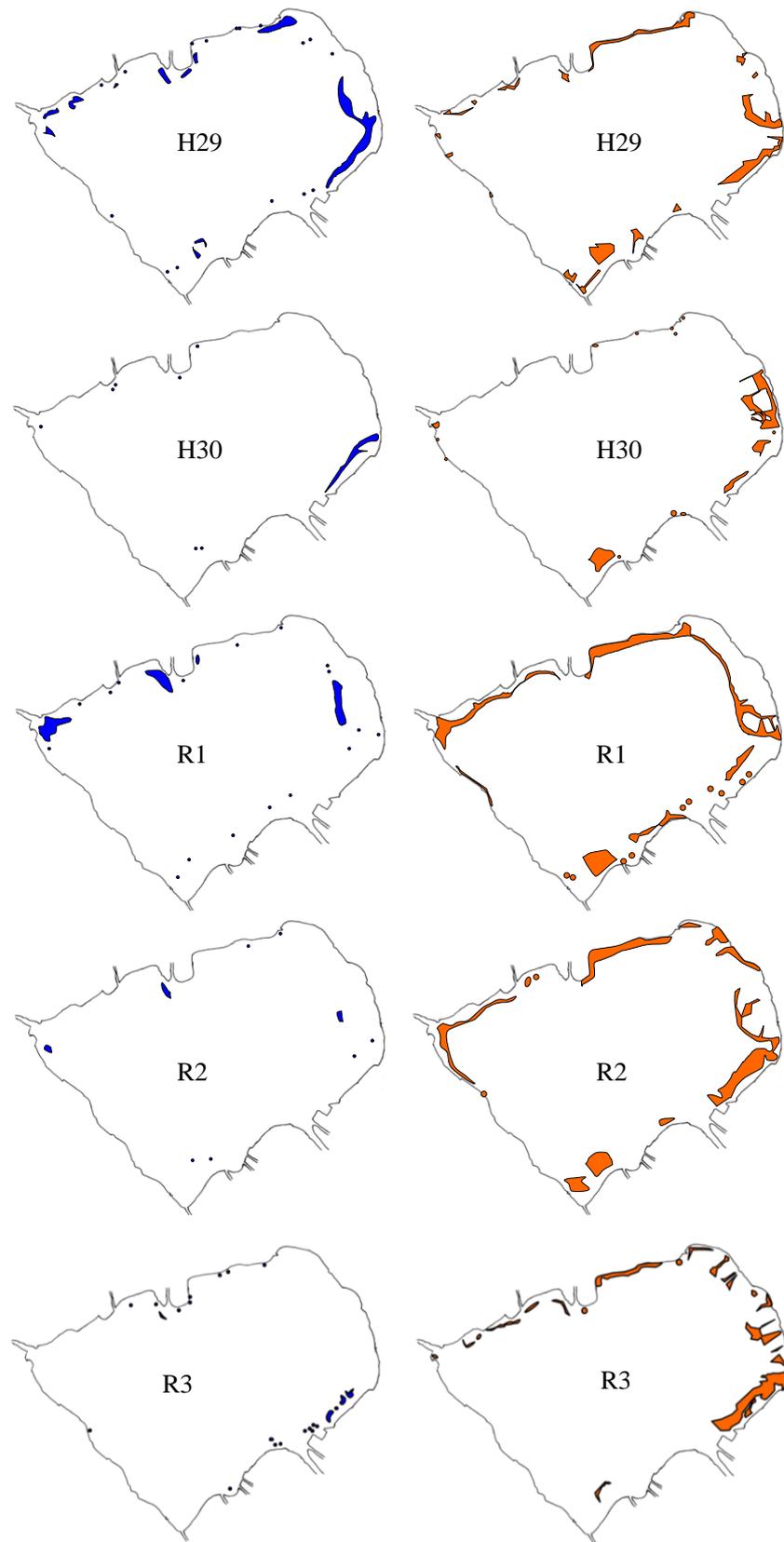


図4 エビモ (左) とクロモ (右) の分布の経年変化

表3 各年のエビモとクロモの繁茂面積

調査年	エビモ(ha)	クロモ(ha)
H26	69	5
H27	16	4
H28	55	20
H29	33	47
H30	8	29
R1	6	52
R2	0	68
R3	2	41

6.1.4. まとめ

- ・ 本年のヒシの繁茂面積は 167ha で、令和 2 年と同じであった。
- ・ 本年の密度 H の範囲は、漕艇場内や上川河口などの一部を除き、諏訪湖の湖岸全周に渡って分布しており、大きな経年変化はなかった。
- ・ ヒシ以外の群落が確認された浮葉・沈水植物は、エビモ、クロモ、ササバモ、ヒロハノエビモ、ホソバミズヒキモ、セキショウモ、アサザの 7 種であった。
- ・ 令和 2 年と比較してクロモの分布面積は 40% (27ha) 減少、エビモの面積は微増であった。

6.2. メガネサナエのモニタリング

諏訪地域振興局環境課

6.2.1. 調査目的

諏訪湖創生ビジョンで指標水生動物に位置付けられているメガネサナエ（トンボ）についてモニタリングを行い、生態系保全のための手法を検討する。

6.2.2. 調査方法

6.2.2.1. 成虫調査

宮川（諏訪市）の約1kmの区間においてラインセンサス法により調査した。メガネサナエの繁殖活動期間中の令和3年8月24日、9月9日及び9月23日に、往路（右岸）復路（左岸）ごと成虫の個体数をカウントした。



図1 メガネサナエの成虫

6.2.2.2. 羽化殻調査

羽化期の令和3年7月12日、7月27日及び8月12日に、①諏訪市湖岸通り、②下諏訪町東赤砂の下諏訪港から一ツ浜公園、③岡谷市岡谷湖畔公園の栈橋や湖岸において、羽化殻数をカウントした。



図2 羽化殻の調査場所



図3 メガネサナエの羽化殻

6.2.3. 調査結果

6.2.3.1. 成虫調査

表1 成虫調査の結果

実施日	令和3年8月24日(火)		令和3年9月9日(木)		令和3年9月23日(木)	
	往路	復路	往路	復路	往路	復路
天候	曇り	曇り	晴れ	晴れ	快晴	快晴
気温(℃)	26.0	28.0	26.0	28.0	29.0	29.0
風向	-	-	S	-	NW	S
風力(m/s)	0	0	1.0	0	1.8	2.0
雲量(%)	100	100	20	20	0	0
照度(lux)	30,500	32,900	113,000	82,600	81,300	93,000
開始時刻～終了時刻	9:30～ 10:30	10:30～ 11:40	13:35～ 14:40	14:40～ 15:40	9:25～ 10:25	10:25～ 11:20
調査人数	2	2	2	2	2	2
メガネサナエ確認数 片道ごとの平均	3.5	7.5	6.5	18.0	7.0	25.5
メガネサナエ確認数 往路復路平均	5.5		12.3		16.3	

調査した3日ともメガネサナエを確認した。

確認された個体は、ほとんどがオスで、川の壁面に静止しているものや、川の水面上を飛翔しテリトリーを形成しているものが確認された。確認数は9月23日が最も多かった。

6.2.3.2. 羽化殻調査

表2 羽化殻調査の結果

実施日	令和3年7月12日(月)			令和3年7月27日(火)			令和3年8月12日(木)			総計
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
メガネサナエ	22	4	9	35	10	1	16	4	2	103
ウチワヤンマ	38	4	6	9	0	2	1	0	0	60
オオヤマトンボ	37	2	2	32	0	0	19	0	1	93
コフキトンボ	104	1	19	294	27	43	68	17	13	586
ミヤマサナエ	4	1	0	2	1	0	1	0	0	9

諏訪市、下諏訪町、岡谷市の3地点ともメガネサナエの羽化殻を確認した。

①では7/27に、②では7/27及び8/12に羽化中のメガネサナエが確認された。

羽化殻は栈橋の木柱でより多く観察され、メガネサナエの主要な羽化場所となっていることが示唆された。

メガネサナエの羽化殻数は8月上旬の調査では減少したことから、主に7月中下旬にかけて羽化しているものと推測される。

第7章 底質環境に関する調査

環境保全研究所水・土壌環境部

7.1. 調査目的

湖沼環境保全の点から底質環境の改善が不可欠であるが、その実態や変化に関する調査例が少ないため、現在の諏訪湖の底質環境の実態を把握する必要がある。湖水の底層溶存酸素量を低下させる大きな要因の一つである底泥による酸素消費速度(SOD)は、新たな環境基準・底層 DO の類型指定及びその後の管理指標として重要であるため、測定データを蓄積し今後の湖内の環境改善対策や底層 DO 類型指定のための基礎資料を得ることを目的とする。なお、本調査は、信州大学との連携により実施している。

7.2. 調査内容

7.2.1. 調査内容・地点

貧酸素の発生要因の一つである底質の酸素消費速度の実態を把握するため、R1 年度から湖内の調査を開始し、R3 年度は湖内の底質酸素消費速度(SOD)の実態把握調査として、環境基準点やヒシ帯における季節変動を調査した。R3 調査地点は、環境基準点、溶存酸素濃度(DO)等連続測定地点(第1章参照)、ヒシ繁茂域等とした。調査地点を表1及び図1に示す。(信大③及び上川河口域の地点は R1～R2 に調査実施(参照：令和2年度諏訪湖創生ビジョン推進事業調査結果報告書(2020年11月、長野県))

表1 調査地点一覧

地点	水深	備考	緯度	経度
湖心	5.7	環境基準点	36° 02' 58.01"	138° 04' 55.06"
塚間川沖 200m	2.8	環境基準点	36° 03' 15.01"	138° 03' 41.42"
初島西	2.6	環境基準点	36° 02' 53.90"	138° 06' 18.30"
B 地点	4.7	DO 等連続測定地点	36° 03' 29.72"	138° 05' 52.36"
D 地点	5.9	DO 等連続測定地点	36° 02' 44.66"	138° 04' 28.22"
信大③(南西)	5.7	信州大学 R2, DO 連続測定地	36° 02' 24.53"	138° 04' 48.57"
ヒシ帯(高浜沖)	2.2	ヒシ繁茂(高密度)	36° 03' 57.50"	138° 05' 55.20"
ヒシ帯(高木沖) ※1	1.9	泥質、対照区・地点⑧	36° 03' 57.67"	138° 06' 05.93"
覆砂区(高木沖)	1.9	砂質、覆砂試験区・地点⑦	36° 03' 55.75"	138° 06' 07.85"
上川河口域②※2	2.4	泥質、対照区、地点②	36° 02' 25.95"	138° 05' 37.93"
上川河口域①	1.1	砂質、覆砂試験区、地点①	36° 02' 24.33"	138° 05' 41.66"
上川河口域⑥	1.6	泥質、対照区、地点⑥	36° 02' 41.39"	138° 06' 16.53"
上川河口域③	0.7	砂質、覆砂試験区、地点③	36° 02' 39.71"	138° 06' 20.22"

※1 高木沖の調査地点：第3章覆砂場所モニタリング調査地点(3.2.2.項) 参照

※2 上川河口域の調査地点：R2 年度諏訪湖創生ビジョン推進事業報告書/第3章覆砂場所モニタリング調査地点(3.2.2.項) 参照



図1 SOD 調査地点図

7.2.2. 調査時期

- 環境基準点、沖合、ヒシ繁茂帯等の地点：春期(4～6月)、夏期(8～9月)、秋期(10～11月)
- 高木沖：夏期(7月)、秋期(11月)

7.2.3. 採泥方法及び試料調製方法

<採泥方法>

鉛直方向の底質性状を調査するため、底質を乱さずに採泥可能な不攪乱柱状採泥器(HR型、離合社)を用いて、採泥用パイプ(アクリル円筒形：内径11cm、長さ50cm)に採泥厚15cm程度以上になるよう底泥を採取し、直上水をカラム上部まで満たし上下をゴム栓で密閉した。各地点において4～6本程度の不攪乱底泥コアを採取して、底質成分分析用、ORP測定用、SOD測定用の試料とした。

底質表層の成分分析用試料は、調査地点毎にエクマンバージ型採泥器で3回採取し、ステンレス製バット中で混合した後、2mmふるいで小石などの異物を除いたものをガラス瓶(1L)に採取した。

<成分分析用試料調製方法>

採取した底泥コアサンプルの直上水をサイホンで静かに抜き取った後、表層から深さ方向に1cmを分画し、分画した試料を遠心分離(3000rpm、20分)し、底質を風乾して分析に供した。

7.2.4. 測定方法

測定項目及び測定方法を表2に示す。

表2 測定項目及び測定方法

対象	測定項目	測定方法
底質	酸素消費速度(SOD)	環境省底質調査方法 I 9
	強熱減量(IL)	環境省底質調査方法 II 4.2
	全窒素(TN)	環境省底質調査方法 II 4.8.1.1(中和滴定法)
	全りん(TP)	環境省底質調査方法 II 4.9.1

<SOD 測定方法>

SOD の測定方法は、環境省の底質調査方法(I 9)に準じて行い、また入江ら(2007)*を参考とした。実験装置を図2に示す。採泥した底泥コアサンプルの直上水をアスピレーターでゆっくり排水した後、あらかじめ条件を整えた試験水を底泥が巻き上がらないようサイホンで静かに加えた。試験水として、各地点で採水した底層水をガラス繊維濾紙(Whatman GF/B)でろ過し、ばっ気により DO を概ね飽和状態にさせたものを用いた。試験水の表面からの酸素供給を遮断するために、少量の流動パラフィンで水表面を封じ、光学式溶存酸素計(WTW 社 Multi 3510 IDS)を用いて試験水の DO 経時変化を計測した(10 分間隔)。暗条件下で試験温度を 20°C 一定とするため、実験装置を恒温槽内に設置し、試験水の DO 濃度が均一になるよう攪拌器でゆっくり攪拌した。

※入江政安、窪田勇輝、中辻啓二、西田修三(2007)：都市海浜における底質の非一様性を考慮した酸素消費量の推定、海岸工学論文集、第 54 巻

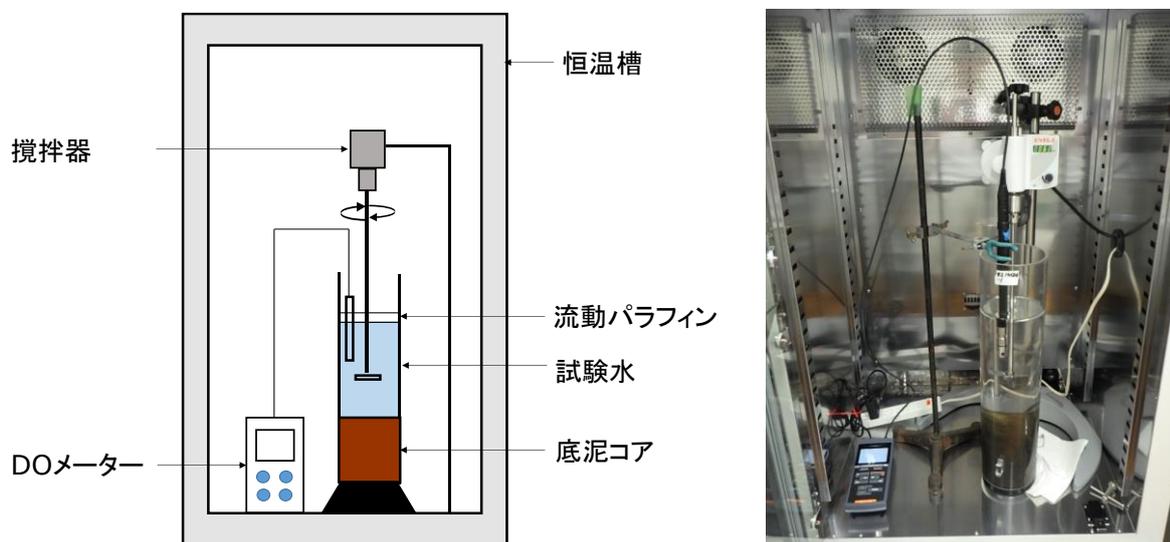


図2 酸素消費速度 実験装置(左：模式図、右：写真)

7.3. 調査結果

測定結果を表3、図3(季節別)、図4(地点別)に示す。SOD測定時の直上水のDO経時変化図(酸素消費曲線：図5)の近似曲線の傾きが段階的に変化していたため、底泥酸素消費速度(SOD)は、試験開始から直線的にDOが減少する期間を対象に、DO減少量を底泥の表面積と時間で除して算出した。また、試験水による酸素消費を補正するため、同実験条件下での試験水のみでのDO経時変化を計測して酸素消費速度を算出し、この値を差し引くことで底泥による酸素消費速度とした。

R3年度調査は、季節変動を含めた湖内の実態を把握するため、環境基準点3地点、DO連続測定地点(沖合)2地点、ヒシの繁茂域1地点の計6地点において、春・夏・秋の3期の調査を実施した(+高木沖の覆砂調査区2地点で夏・秋2期：3.2.項参照)。

全般について、地点別に比較すると、3期の平均値は、D地点1.7 g/m²/day、ヒシ帯(高浜沖)1.4 g/m²/day、塚間川沖1.2 g/m²/day、湖心1.1 g/m²/day、B地点1.1 g/m²/day、初島西0.98 g/m²/dayであり、水深が最も深く貧酸素状態の発生頻度が高いD地点や、ヒシが高密度に繁茂するヒシ帯(高浜沖)において、他の地点よりSOD値が高い傾向が見られた。採泥時の現地底層DO濃度について、SODが高い値を示したヒシ帯(高木沖)では春期及び夏期に無酸素状態(DO<1 mg/L)で、D地点では夏期及び秋期に貧酸素状態(DO 2 mg/L程度)であり、底層DOが低い値となっていた。

季節変動は、6地点平均で春期1.7(1.1~2.4)、夏期1.1(0.74~1.4)、秋期0.96(0.62~1.3) g/m²/dayであり、夏期、秋期より春期に値が高い傾向が見られた。特に春期のD地点、ヒシ帯(高浜沖)が高い値であり(それぞれ2.4、2.0 g/m²/day)、夏期ではヒシ帯(高浜沖)が高く、秋期ではD地点、湖心が高い値であった。春期にSOD値が高い傾向については、春期に観察される湖水中の懸濁物質の増加、懸濁物質(デトリタス)の沈降、堆積、有機物分解などの影響が推察される。

年変動について、2019~2021年の調査結果から、諏訪湖内のSODは、0.62~2.4 g/m²/dayの範囲であった(並行試験数：n=3~6、時期：春期~秋期)。最も高い値は2021年6月のD地点で(2.4 g/m²/day)、次いで同月のヒシ帯(高浜沖)が高く(2.0 g/m²/day)、最も低い値は2021年10月の初島西(0.62 g/m²/day)であった。全般には、貧酸素の発生頻度が高いD地点やヒシ帯(高浜沖)でSOD値が高い傾向が見られ、初島西や上川河口域で比較的値が低い傾向が見られた。また、これまでの調査からデータ数の多い湖心については、R1、R2、R3の夏期の値に差が見られた(それぞれ1.7、1.0、0.95 g/m²/day)。R1は夏期の気象条件が安定し、湖心の現地底層DOの貧酸素状態が継続的に発生し嫌気的環境下であった状況から、測定時の培養初期の著しいDO減少が還元性物質の酸化による酸素消費に起因している可能性が考えられ²⁾、一方、R2年は梅雨明けが例年より遅く盛夏期の貧酸素の発生期間が短く、R3は8月の降雨量が記録的に多く、このような気象条件や貧酸素の発生状況の違いが要因の一つとして考えられた。

影響要因について、温度依存性を検討するため、湖心(秋期)のサンプルについて、培養温度を20℃、15℃、12℃(現地水温)に変えてSOD測定を実施したところ、培養温度が高い方がSODが高い値であった(図7)。また、SODと底質性状との関係について、SOD調査時の底泥コアサンプルの表層(0-1cm)の有機物量(強熱減量IL)、栄養塩類(N、P)含有量との関係を図6に示す(2019~2021データ)。ILは、ヒシ帯18~21%、沖合12~17%、上川河口域(泥)10~12%、上川河口域(砂)1.9~2.7%であり、SODが高い傾向にあるヒシ帯や沖合の地点の方がILが高く、有機物量の

指標である強熱減量と SOD 値に弱い正の相関が見られた。N 含量は、ヒシ帯 7.1~7.9、D 地点 5.4~7.4、湖心・B 地点 5.3~6.8、塚間川沖・初島西 3.4~4.7 mg/g であり、SOD 値が高いヒシ帯や D 地点で N 含量が高く、N 含量と SOD 値に弱い正の相関が見られた。一方、P 含量は、塚間川沖が他の地点より値が小さい傾向であったが他の地点間に差が見られず、P 含量と SOD 値には相関が見られなかった。

高木沖(覆砂調査区)について、夏期の覆砂区(高木沖)の SOD は平均 0.91 g/m²/d、対照地点であるヒシ帯(高木沖)は平均 1.1 g/m²/d であり、対照地点の方が値が高く酸素消費速度が大きかった。第 3 章 3.2 項のとおり両地点の底質性状は顕著に異なり、覆砂区は砂泥質で有機物量、栄養塩類等の含有量が少なく(IL 2.2%、TN 0.15 mg/g、TP 0.61 mg/g)、対照地点は泥質で IL 19%、TN 7.9 mg/g、TP 1.7 mg/g であり、底質性状の違いが要因の一つとして考えられる。また、覆砂区では底泥コア表面に付着藻類が見られ、付着藻類が多いサンプルほど SOD 値が高い傾向が見られた。R1 年度(浜崎区)調査でも夏期に付着藻類の影響が見られたことから、覆砂区の底泥コア表面を覆う付着藻類による酸素消費も SOD 値に影響している可能性が考えられる。なお、対照区のサンプル表面はヒシの枯死体等の植物残渣が多く見られた。秋期の覆砂区(高木沖)の SOD は平均 1.5 g/m²/d、対照のヒシ帯(高木沖)は平均 1.5 g/m²/d であり、調査地点間の差は見られなかった。夏期の調査において覆砂区の方が SOD が小さかったが、同様の傾向は R1(浜崎区)、R2(湖岸通り区)の秋期の調査でも同様に見られている。調査地点ごとのサンプル間のバラつき(n=3)を見ると、覆砂区においてバラつきが大きく(CV% 覆砂区 18%、対照区 6.5%)、試験区の 3 本の底泥コアサンプルのうちクロモの枯死体等の植物残渣が多い 2 サンプルで SOD 値が大きく、バラつきの要因と推察される。

高木沖の 2 期の調査から、両地点において秋期の方が SOD が大きい値であったが、秋期のサンプル表面には覆砂区でクロモ、対照区でヒシ等の枯死体が多く堆積しておりその影響が考えられる。一方、ヒシ帯(高木沖)の近傍にあるヒシ帯(高浜沖)では秋期の方が SOD 値が小さい傾向が見られたが、高浜沖ではヒシの刈取りが 9 月に行われており(高木沖は未実施)、ヒシ刈取りによる枯死体の堆積の減少、貧酸素の解消等が SOD に影響している可能性も考えられる。

SOD による底層水の酸素消費の程度について、SOD 1.0 g/m²/day 程度を示したサンプル(湖心・夏期)では、本測定条件下(20℃、酸素供給無し)において、水柱高さ 25 cm の直上水の DO 濃度が飽和状態から約 40 時間程度で貧酸素状態(<3 mg/L)になることが確認された(図 5)。

底泥の不均一性を考慮したサンプル間の測定値のバラつきについて、地点毎に底泥コアサンプル 5 本(又は 3 本)の並行試験により測定値の変動係数を確認した。R3 の変動係数は 3.5~27% であり、基準はないが CV 20%程度を目安とすれば概ね妥当な範囲であった。なお、これまでの調査から CV 30%程度を示したサンプルでは、植物プランクトンの堆積が顕著(R1 塚間川沖 200m・夏)、底泥コア表面に付着藻類が発生(R1 地点①・夏、R2 地点③・秋)といった特徴が見られた。

表3 底泥酸素消費速度 測定結果(g/m²/day)

区分	試料名	採泥日	サンプル数	最小値	最大値	平均値	CV%	水温 ^{※1} (°C)	IL ^{※2} (%)	TN ^{※2} (mg/g)	TP ^{※2} (mg/g)
春期	湖心	4/27	5	0.93	1.24	1.10	12.1%	12.5	15.3	6.30	1.79
	塚間川沖200m	5/11	5	1.46	1.67	1.57	5.0%	14.0	11.9	3.69	1.21
	初島西	5/18	5	1.20	1.42	1.36	6.6%	17.8	15.6	4.62	1.72
	DO連続:B地点	5/25	5	1.32	2.23	1.66	23.0%	15.0	16.4	6.11	1.97
	DO連続:D地点	6/1	5	2.30	2.49	2.39	3.5%	16.2	14.9	6.93	1.91
	ヒシ帯(高浜沖)	6/10	5	1.48	2.48	2.02	20.0%	19.6	18.3	7.33	1.69
夏期 (高木沖)	覆砂区(高木沖)	7/20	5	0.68	1.20	0.91	20.6%	25.1	2.2	0.15	0.61
	ヒシ帯(高木沖) (覆砂対照)	7/29	5	1.03	1.18	1.12	5.7%	25.1	18.6	7.91	1.70
夏期	湖心	8/3	5	0.90	1.07	0.95	6.8%	22.8	15.7	6.84	1.92
	DO連続:D地点	8/11	5	1.09	1.36	1.21	8.1%	25.0	16.2	7.44	2.06
	DO連続:B地点	8/31	3	0.71	0.78	0.74	4.9%	18.4	16.6	5.41	1.84
	初島西	8/31	3	0.86	1.02	0.96	8.7%	25.3	15.6	4.70	1.65
	塚間川沖200m	9/7	5	1.02	1.34	1.20	11.2%	19.6	13.3	3.59	1.11
	ヒシ帯(高浜沖)	9/16	5	1.23	1.60	1.44	9.6%	20.4	20.5	7.13	1.67
秋期	湖心	10/7	5	0.94	1.69	1.28	25.9%	18.7	14.7	5.26	1.90
	DO連続:D地点	10/14	5	0.98	1.78	1.34	27.1%	18.6	13.8	5.37	1.76
	DO連続:B地点	10/19	5	0.68	0.90	0.81	10.1%	16.9	17.0	5.72	1.91
	初島西	10/26	5	0.56	0.71	0.62	11.5%	12.2	15.6	4.67	1.61
	塚間川沖200m	11/1	5	0.66	1.18	0.95	23.9%	12.3	13.5	3.41	1.05
	ヒシ帯(高浜沖)	11/9	5	0.54	1.00	0.73	23.7%	12.4	19.2	7.49	1.65
秋期 (高木沖)	覆砂区(高木沖)	11/24	3	1.23	1.76	1.53	17.5%	8.6	-	-	-
	ヒシ帯(高木沖) (覆砂対照)	11/24	3	1.41	1.60	1.50	6.5%	8.8	19.0	7.82	1.72

*1 水温：現地の底層水の水温

*2 強熱減量(IL)：底泥コアの表層0-1cmの測定値

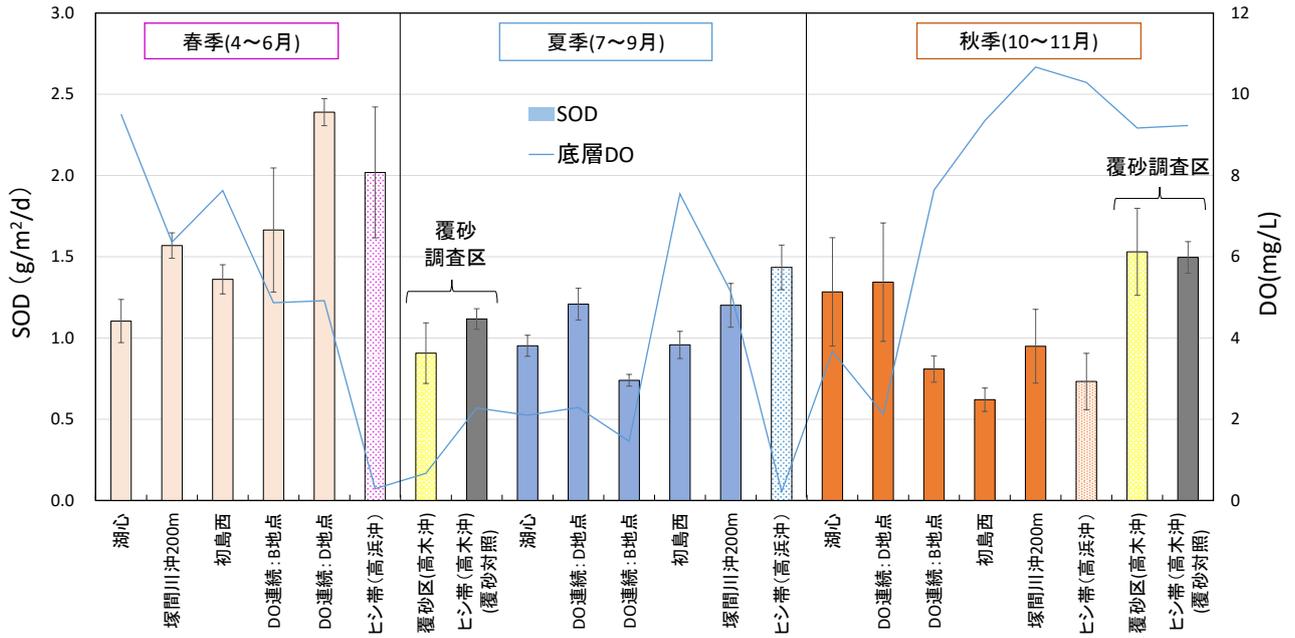


図3 底泥酸素消費速度 測定結果【季節別(採泥日順)】
 (エラーバーは併行試験(n=3~5)の標準偏差を示す、底層 DO:湖底直上の DO)

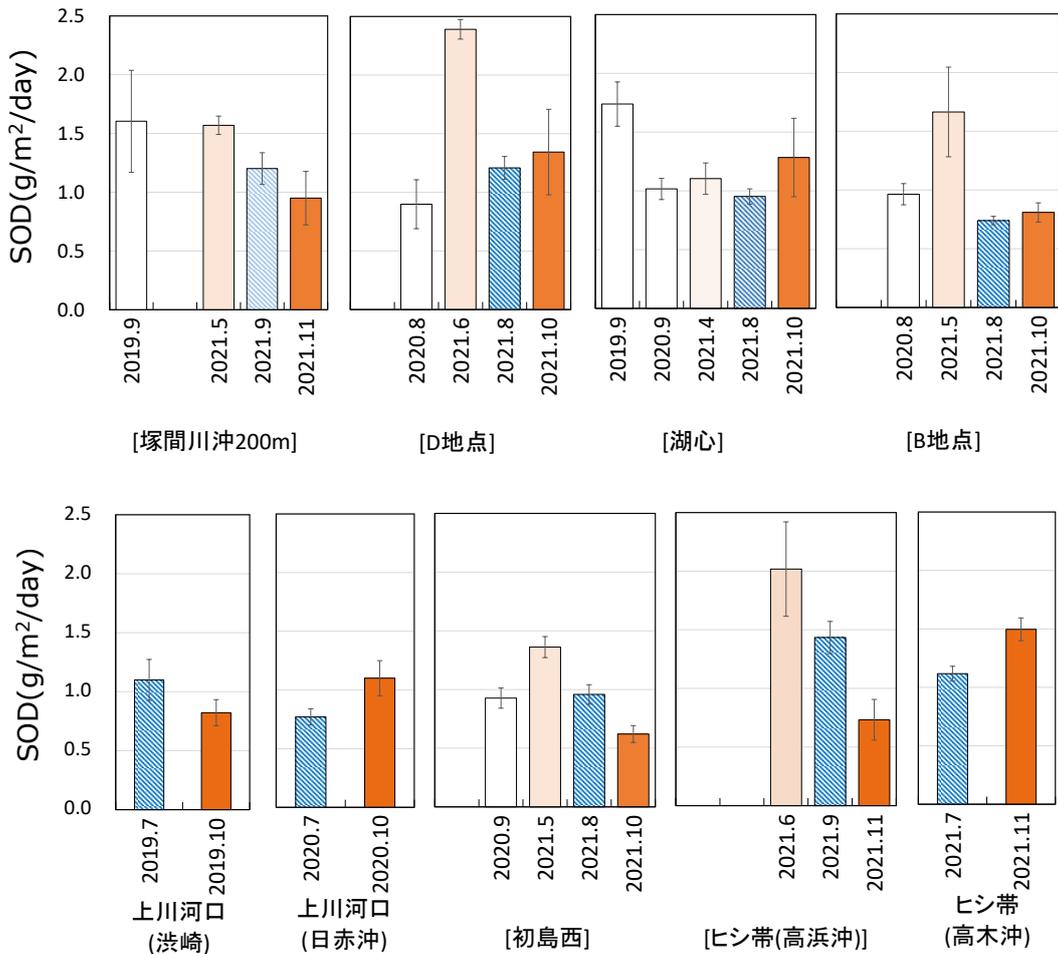


図4 底泥酸素消費速度 測定結果【地点別】
 (R1-R3 測定結果含む、エラーバーは併行試験(n=3~5)の標準偏差を示す)

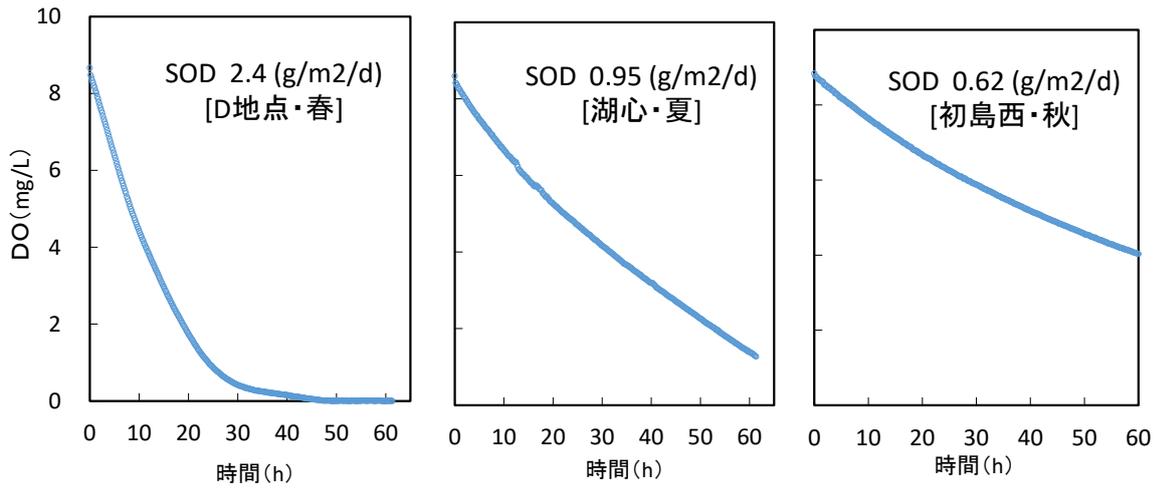


図5 直上水 DO 経時変化(酸素消費曲線)

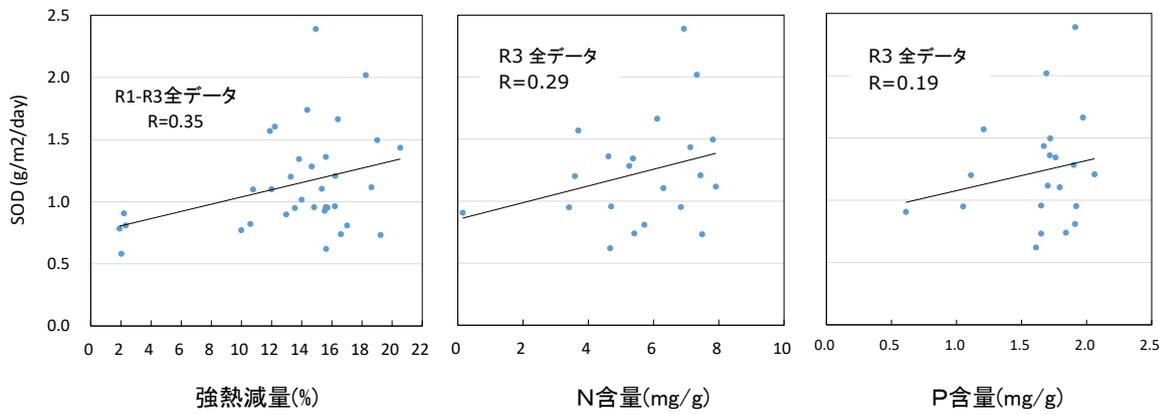


図6 SOD と有機物量、N、P の関係

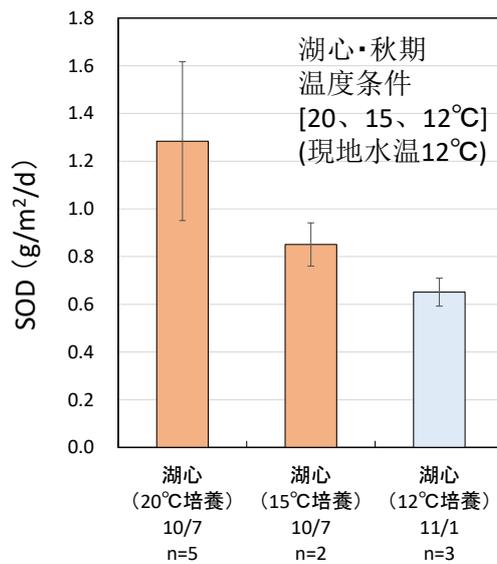


図7 温度影響(湖心・秋期、温度条件：20、15、12°C(現地水温))

また、SOD の影響要因として着目している底泥の酸化還元状態を把握するため、底泥鉛直方向の酸化還元電位(ORP)の測定を試行的に実施した。測定方法について、土壤用 Eh 計(株藤原製作所 PRN-41 型)を用いて、底泥コアの測定深度に電極を挿入して約 5~10 分後に指示値が安定してから値を読み、鉛直深さ方向に測定を実施した。測定結果を図 8 に示す。

全般に底泥表面から深度方向に ORP が低下する傾向が見られ、直上水(深度 0cm)では Eh 400 mv 程度で、表層 0-1cm 付近で深度方向に ORP が大きく低下し(酸化還元境界層)、1cm 以深では Eh 0 ~150 mv 程度で還元的な状態であった。

季節変動について、塚間川沖、D 地点、B 地点、初島西では、夏・秋期より春期の方が値が高い傾向が見られ、夏・秋期は同程度であった。ヒシ帯(高浜沖)では、表層付近で秋期の方が高い傾向であった。

今後、SOD の影響要因の検討のため、測定データのさらなる蓄積や定量的な測定手法の検討等により、底泥の酸化還元状態の把握を進めていく必要があると考える。

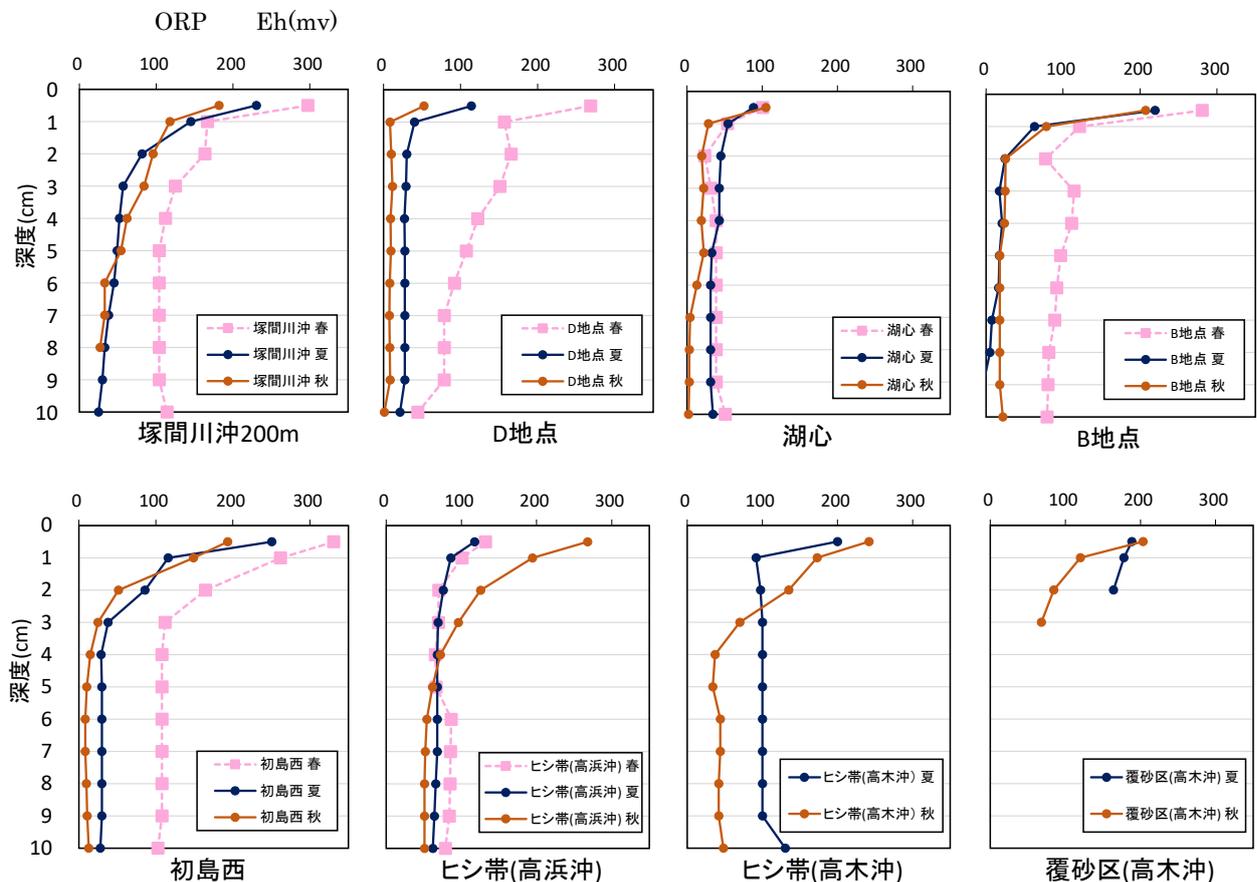


図 8 底泥鉛直方向の酸化還元電位(ORP : Eh 表示、mv)

7.4. まとめ

底泥による湖水底層水の酸素消費は底層溶存酸素量を低下させる要因の一つであり、新たな環境基準・底層 DO の類型指定及びその後の管理指標として重要な底泥酸素消費速度調査(SOD)の測定データの蓄積が不可欠であることから、季節変動を含む SOD の湖内実態を調査した。

近年の課題となっているヒシ繁茂域を含む湖内 6 地点において調査毎 5 試料の並行試験を実施して SOD 測定データを蓄積し、春～秋 3 期の季節変動を把握した(ヒシ繁茂域内の高木沖覆砂調査区でも実施)。R3 年度は、地点全般で夏・秋より春期に値が高い傾向が見られ、地点別では水深が最も深い D 地点やヒシ繁茂帯(東部：高浜沖)において値が高い傾向が見られた。SOD の影響要因について、温度依存性の試験を実施し、湖心(秋期)では 12～20℃の範囲で培養温度が高いほど SOD 値が高い傾向が見られた。また、底泥表層(0-1cm)の有機物量や栄養塩類含有量との関係について、有機物量の指標である強熱減量と N 含量について、SOD 値と弱い正の相関が見られた。

本調査により、諏訪湖内の SOD の広域的な実態を把握し、地点変動、年変動が確認され、3 期の調査から季節変動が把握され、類型指定後の SOD モニタリングを見据えた SOD の初期的な実測データが蓄積された。また、本調査結果から春期に SOD 値が高くなる傾向が確認され、春期に観察される湖水中の内部生産由来の懸濁物質の増加、これによる懸濁物質(デトリタス)の沈降、堆積、有機物分解などの影響などが推察される。春期は貧酸素水塊が発生する夏期に向かって底層 DO が減少していく時期であることから、今後、詳細に季節変動を調査し、SOD に与える影響要因、湖内環境との関係把握をさらに進める必要があると考える。

底質環境に関する調査の今後の方向性について、これまでの調査により把握された現在の底質性状が湖沼環境へ与えている影響の程度を明らかにするため、SOD の詳細な季節変動や水生植物帯の調査、測定省力化に繋がる簡易測定手法の検討等により SOD の詳細な実態把握を進めていくとともに、湖水に栄養塩と有機物を供給する底泥溶出の実態把握に取り組む予定である。

第8章 総括

令和3年度の諏訪湖創生ビジョン推進事業の調査結果全体について以下のとおり総括した。

諏訪湖の溶存酸素濃度については、溶存酸素濃度等連続測定（信州大学と共同で実施した湖心を含む湖内6地点における6月上旬～12月上旬の連続測定）により、貧酸素水塊の状況把握に努めた。溶存酸素濃度等連続測定からは、全水深の深い湖心、B地点、D地点およびE地点における最深測定点において6月中旬から10月中旬までDO濃度が4mg/L以下となる貧酸素状態から無酸素状態になることがあり、8月中旬～9月上・中旬の時期を中心に継続的、あるいは高頻度の断続的な貧酸素化が生じていた。（第1章）

プランクトン調査については、平成28年7月に発生したワカサギ等魚類の大量死亡の際、植物プランクトンの減少が確認されたため、植物プランクトン及び動物プランクトンを定期的に調査し、情報を収集した。

植物プランクトン調査については、月1回の採水を行い、継続的に分類及び細胞数について植物プランクトンの動向を調査している。令和3年に入ると、鞭毛藻類が増加した。3月から増加し始めた珪藻類は、4月にピークとなった。4月以降に全体の生物量は減少に転じたが、珪藻類が優占する状況は続いた。9月から全体の生物量は増加に転じ、夏場は藍藻類が優占した。10月以降は減少傾向となり、11月以降は珪藻類が優占した。令和4年に入り、例年と同様に春先に向けて全体の生物量が増加し、珪藻類が優占した。

動物プランクトン調査については、今年度の動物プランクトンは、年間を通してワムシ類が多くなっていた。ワムシ類の個体数変化によって、動物プランクトン総数も左右されていた。この傾向は3年間で共通していた。動物プランクトン総数は、7月下旬に増加したが明瞭なピークは見られなかった。令和元年度および令和2年度における動物プランクトンのピーク時期は、それぞれ10月下旬および5月下旬で、各年で異なっていた。（第2章）

覆砂場所のモニタリングは、諏訪湖沿岸に造成した覆砂場所（平成27年度に造成した渋崎区及び平成28年度に造成した湖岸通り区）において、覆砂による改善効果を把握するため、水質調査、底質調査、シジミ放流試験、淡水シジミ生育調査、底生生物定性調査を実施した。

水質調査結果からは、全般的に試験区は対照区より低い濃度であることから、覆砂による改善効果として、底泥からのアンモニア性窒素やりん酸態りんの溶出抑制が考えられた。また、覆砂による改善効果の要因として底泥の巻き上げ抑制や植物プランクトンの発生抑制等の可能性が挙げられた。覆砂試験区と対照区の底質が底層水に与える影響の違いが確認され、底泥溶出量、懸濁粒子の沈降量、底泥からの巻き上げ量等の実態調査の必要性が考えられた。溶存酸素（DO）濃度については、湖岸通り区で夏季に対照区の方が低く、覆砂による底泥の酸素消費速度の違いが影響している可能性が考えられるが、各地点における水生植物の有無、繁茂状況の違いによる影響や沿岸域で水深が浅いことの影響も考えられた。高木沖における底泥の酸素消費速度については、今後も底泥の酸素消費速度調査を実施して覆砂による改善効果をさらに検証する必要がある。

底質調査では、強熱減量、全窒素等の測定結果から明瞭な改善効果が見られ、覆砂施工から5年経過した渋崎区、4年経過した湖岸通り区の両方においても、その効果が維持されていることが確認された。底泥酸素消費速度について、高木沖で初めて調査を実施した結果、試験区と対照

区の SOD(平均値)は夏期に試験区の方が低い値であり、季節変動は秋期の方が値が高い傾向が見られ、覆砂による底質性状の違い、付着藻類、水生植物の堆積等による酸素消費の影響が示唆された。

淡水シジミ生育試験では、対照区では淡水シジミは採取されず、また新規に造成された高木地区の覆砂区においても淡水シジミは採取されなかった。渋崎地区よび湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度については、0+個体を心に春に少なく夏から秋に増える傾向を示し、増減を繰り返している。

底生生物及び魚類調査では、4年間で採捕された種は、魚類が10種、甲殻類が2種、貝類が2種であった。覆砂後5、6年経過してもその好適な環境が維持されているかは明らかではなく、今後も底生生物および魚類の生息状況のモニタリング調査を継続する必要性が示唆された。(第3章)

ヒシ刈り取り場所のモニタリングからは、ヒシ刈りや覆砂工事が進められる中で、湖底環境の多様性が徐々に高まり、水質もやや改善傾向にあるように思われるなかで、ヒシ刈りや覆砂工事を行わなかった周辺の場所も含めて、諏訪湖全体としての水草の多様性が徐々にではあるが高まりつつあるよう思われた。(第4章)

ワカサギの資源量調査では、6月～11月のワカサギの推定資源尾数は、約163～1,608万尾であった。0歳魚(小公)の平均体重、平均体長および平均肥満度は、平成28年度と同程度に大きかった。(第5章)

諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査では、令和3年のヒシの繁茂面積は167haで、令和2年と同じであった。密度Hの範囲は、漕艇場内や上川河口などの一部を除き、諏訪湖の湖岸全周に渡って分布しており、大きな経年変化はなかった。ヒシ以外の群落が確認された浮葉・沈水植物は、エビモ、クロモ、ササバモ、ヒロハノエビモ、ホソバミズヒキモ、セキショウモ、アサザの7種であった。令和2年と比較してクロモの分布面積は40%(27ha)減少、エビモの面積は微増であった。

メガネサナエのモニタリングについて、成虫調査では、調査した3日ともメガネサナエを確認され、個体はほとんどがオスで、川の壁面に静止しているものや、川の水面上を飛翔しテリトリーを形成しているものが確認された。羽化殻調査では、羽化殻は棧橋の木柱でより多く観察され、メガネサナエの主要な羽化場所となっていることが示唆された。また、メガネサナエの羽化殻数は8月上旬の調査では減少したことから、主に7月中下旬にかけて羽化しているものと推測された。(第6章)

底質環境に関する調査では、不攪乱柱状採泥による底質調査手法を導入・確立し、諏訪湖沿岸域を中心に鉛直方向の底質性状の実態を把握、広域的な底質環境の変化を把握・評価した。諏訪湖内のSODの広域的な実態を把握し、地点変動、年変動が確認され、3期の調査から季節変動が把握され、類型指定後のSODモニタリングを見据えたSODの初期的な実測データが蓄積された。(第7章)

資料編

- 1 覆砂場所のモニタリング調査（第3章）関係
資料1-1 水質測定データ 資-1

資料 1 - 1 覆砂場所のモニタリング調査 水質測定データ

< 6月 >

項目	湖岸通③ 表層	湖岸通③ 底層	湖岸通⑥ 表層	湖岸通⑥ 底層	高木沖⑦ 表層	高木沖⑦ 底層	高木沖⑧ 表層	高木沖⑧ 底層
採水年月日	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15	2021/6/15
採水時刻	11:20	11:40	9:40	10:10	12:40	13:10	14:45	15:15
天候	晴 無～微 風	晴 無～微 風	晴 無～微 風	晴 無～微 風	晴 無～微 風	晴 無～微 風	晴 西風 弱風	晴(小雨) 西風 無～ 弱風
全水深(m)	0.83	0.83	1.58	1.58	1.88	1.88	1.80	1.80
採水深(m)	0.20	0.63	0.20	1.38	0.20	1.68	0.20	1.60
気温(℃)	27.1	27.1	23.0	23.0	29.6	29.6	25.5	25.5
水温(℃)	25.4	24.0	23.9	20.8	27.7	22.5	27.4	22.5
pH	9.31	9.27	9.53	8.61	8.71	8.16	8.77	7.52
EC(mS/m)	14.69	14.78	14.59	15.28	15.30	16.06	16.50	18.38
ORP(mV)	76	62	105	142	115	137	84	166
色	緑褐色・極 淡(明)	緑褐色・極 淡(明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・淡 (明)	黄緑褐色・ 淡(明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・淡 (明)
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
透明度(m)	全透(>0.6)	全透(>0.6)	全透(>1.35)	全透(>1.35)	1.4	1.4	1.25	1.25
透視度(cm) 平均	94	83	100	47	74	41	74	52
DO(mg/L)	9.5	10.5	11.2	11.2	9.5	8.0	8.9	3.6
浮遊物質(mg/L)	5	7	5	11	5	13	8	12
COD(mg/L)	4.1	4.5	4.6	4.6	3.4	4.9	5.5	4.8
溶解性COD(mg/L)	2.9	2.9	2.7	3.1	3.1	3.1	3.6	3.1
全窒素(mg/L)	0.47	0.48	0.48	0.72	0.41	0.56	0.73	0.69
溶解性窒素(mg/L)	0.28	0.31	0.28	0.47	0.23	0.24	0.24	0.29
無機態窒素(mg/L)	0.12	0.14	0.14	0.30	0.08	0.07	0.06	0.10
アンモニア性窒素(mg/L)	<0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	<0.01	0.06
亜硝酸性窒素(mg/L)	0.005	0.005	0.005	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004
硝酸性窒素(mg/L)	0.11	0.12	0.12	0.27	0.06	0.05	0.05	0.04
全りん(mg/L)	0.025	0.032	0.024	0.063	0.033	0.062	0.066	0.069
溶解性りん(mg/L)	0.010	0.011	0.009	0.015	0.010	0.013	0.015	0.015
りん酸態りん(mg/L)	<0.003	0.004	<0.003	0.007	0.003	0.005	0.005	0.007
TOC(mg/L)	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.5	2.2
DOC(mg/L)	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7	1.8	2.1	1.8
クロロフィルa(μg/L)	10.9	9.8	10.4	11.5	9.9	19.6	21.9	15.7

< 8 月 >

項目	湖岸通③ 表層	湖岸通③ 底層	湖岸通⑥ 表層	湖岸通⑥ 底層	高木沖⑦ 表層	高木沖⑦ 底層	高木沖⑧ 表層	高木沖⑧ 底層
採水年月日	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5	2021/8/5
採水時刻	10:45	11:10	9:40	10:10	12:05	12:20	13:20	13:30
天候	晴 北西風 弱風	晴 北西風 弱風	晴 西風 微～無風	晴 西風 微～無風	晴 南西風 弱～無風	晴 南西風 弱～無風	晴 西風 微風	晴 西風 微風
全水深(m)	0.77	0.77	1.55	1.55	1.83	1.83	1.75	1.75
採水深(m)	0.20	0.57	0.20	1.35	0.20	1.63	0.20	1.55
気温(°C)	30.5	30.5	28.8	28.8	35.5	35.5	34.5	34.5
水温(°C)	28.8	28.4	28.4	25.8	30.7	26.8	31.8	26.6
pH	8.55	8.54	8.91	7.83	9.49	7.45	9.85	7.30
EC(mS/m)	14.82	14.90	14.65	15.40	15.11	22.10	17.20	16.40
ORP(mV)	119	78	110	130	79	158	42	200
色	緑褐色・極 淡(明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・極 淡(明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・極 淡(明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・淡 (明)	緑褐色・淡 (明)
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
透明度(m)	全透(>0.7)	全透(>0.7)	全透(>1.3)	全透(>1.3)	全透(>1.4)	全透(>1.4)	測定不能	測定不能
透視度(cm) 平均	95	81	100	61	100	47	49	92
DO(mg/L)	9.0	9.5	10.9	7.3	11.6	2.3	13.9	1.1
浮遊物質(mg/L)	3	4	3	8	3	10	15	4
COD(mg/L)	4.2	4.2	3.6	3.6	5.3	5.2	10.5	5.3
溶解性COD(mg/L)	2.9	2.9	3.0	2.6	4.2	4.0	5.2	4.3
全窒素(mg/L)	0.46	0.51	0.43	0.63	0.39	0.67	1.21	0.49
溶解性窒素(mg/L)	0.28	0.30	0.27	0.45	0.21	0.43	0.25	0.27
無機態窒素(mg/L)	0.12	0.15	0.11	0.30	0.04	0.20	0.03	0.05
アンモニア性窒素(mg/L)	<0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.13	<0.01	0.03
亜硝酸性窒素(mg/L)	0.005	0.006	0.005	0.009	<0.002	0.004	<0.002	<0.002
硝酸性窒素(mg/L)	0.11	0.13	0.09	0.25	<0.02	0.07	<0.02	<0.02
全りん(mg/L)	0.028	0.033	0.055	0.148	0.040	0.076	0.141	0.059
溶解性りん(mg/L)	0.010	0.010	0.009	0.010	0.015	0.022	0.018	0.023
りん酸態りん(mg/L)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.003	0.016	0.005	0.016
TOC(mg/L)	1.9	1.9	1.8	1.5	2.7	2.6	4.6	2.8
DOC(mg/L)	1.8	1.7	1.7	1.5	2.5	2.5	3.1	2.6
クロロフィルa(μg/L)	11.3	16.8	11.6	16.6	13.5	11.2	76.0	6.5

<11月>

項目	湖岸通③ 表層	湖岸通③ 底層	湖岸通⑥ 表層	湖岸通⑥ 底層	高木沖⑦ 表層	高木沖⑦ 底層	高木沖⑧ 表層	高木沖⑧ 底層
採水年月日	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16	2021/11/16
採水時刻	10:20	10:30	9:40	10:00	11:30	11:40	12:35	12:45
天候	晴 無風	晴 北西風 弱～中風	晴 東風 微風	晴 東風 微風	曇り 北西 風 弱～中 風	曇り 北西 風 弱～中 風	曇り 北西 風 中～強 風	曇り 北西 風 中～強 風
全水深(m)	0.91	0.91	1.72	1.72	2.04	2.04	1.93	1.93
採水深(m)	0.20	0.71	0.20	1.52	0.20	1.84	0.20	1.73
気温(°C)	11.0	11.0	10.2	10.2	11.4	11.4	11.2	11.2
水温(°C)	10.8	10.6	10.4	9.1	11.8	11.1	11.9	11.7
pH	8.53	8.52	9.2	8.14	9.07	8.89	9.06	9.02
EC(mS/m)	14.89	15.11	14.51	15.07	14.61	15.12	14.68	14.78
ORP(mV)	96	96	86	127	80	91	79	83
色	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)	黄緑褐色・ 淡(明)
臭気	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
透明度(m)	全透(>0.7)	全透(>0.7)	全透(>1.4)	全透(>1.4)	1.42	1.42	1.4	1.4
透視度(cm) 平均	93	80	74	71	72	43	71	56
DO(mg/L)	10.3	10.4	11.6	9.9	10.7	10.2	10.6	10.6
浮遊物質(mg/L)	6	7	8	10	8	20	9	14
COD(mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-
溶解性COD(mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-
全窒素(mg/L)	0.47	0.51	0.49	0.66	0.44	0.57	0.45	0.53
溶解性窒素(mg/L)	0.33	0.34	0.26	0.52	0.21	0.21	0.22	0.21
無機態窒素(mg/L)	0.24	0.24	0.14	0.43	0.08	0.09	0.10	0.09
アンモニア性窒素(mg/L)	0.02	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01
亜硝酸性窒素(mg/L)	0.006	0.006	0.007	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006
硝酸性窒素(mg/L)	0.21	0.22	0.12	0.38	0.06	0.07	0.07	0.07
全りん(mg/L)	0.032	0.040	0.039	0.043	0.041	0.059	0.042	0.051
溶解性りん(mg/L)	0.009	0.010	0.009	0.011	0.008	0.008	0.007	0.006
りん酸態りん(mg/L)	0.003	0.004	<0.003	0.007	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
TOC(mg/L)	1.3	1.3	1.6	1.0	1.7	1.7	1.6	1.7
DOC(mg/L)	1.1	1.1	1.3	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3
クロロフィルa(μg/L)	11.9	14.3	23.7	11.3	20.9	31.9	22.3	22.6

資料 1 - 2 覆砂場所のモニタリング調査 底質測定データ

採泥年月日	検体名	採泥時刻	採取水深 (m)	天候	気温 (°C)	泥温 (°C)	性状	TN (mg/g)	TP (mg/g)	強熱減量 (%)
2021/6/29	湖岸通り③	9:50	0.73	晴	23.1	20.6	砂質	0.17	0.30	1.8%
2021/6/29	湖岸通り⑥	9:20	1.53	曇	22.0	19.6	砂泥質	2.45	1.30	10.5%
2021/6/29	高木沖⑦	10:30	1.80	晴	25.9	21.5	砂泥質	0.33	0.61	2.8%
2021/6/29	高木沖⑧	12:00	1.78	晴	25.9	21.5	泥質	7.15	1.77	18.6%
2021/11/9	湖岸通り③	11:20	0.90	雨	12.4	12.1	砂質	0.20	0.32	1.8%
2021/11/9	湖岸通り⑥	11:40	1.70	雨	12.4	12.1	砂泥質	2.75	1.20	10.8%
2021/11/24	高木沖⑦	12:00	2.00	曇	5.8	10.1	砂泥質	0.37	0.52	3.0%
2021/11/24	高木沖⑧	10:40	1.90	曇	5.2	10.1	泥質	6.44	1.62	17.1%