

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

令和４年３月２２日

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)	・ ・ ・ ・	15
2	動物プランクトン調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	17
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)	・ ・ ・ ・	25
2	底質調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	33
3	シジミ調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	44
4	底生生物調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	51
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)	・ ・ ・ ・	54
第5章	ワカサギの資源量調査 (水産試験場諏訪支場)	・ ・ ・ ・	74
第6章	流入河川水量等調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	77
第7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)	・ ・ ・ ・	87
2	メガネサナエのモニタリング (諏訪地域振興局環境課)	・ ・ ・ ・	93
3	湖畔の動植物モニタリング調査 (環境保全研究所自然環境部)	・ ・ ・ ・	95
第8章	底質環境に関する調査 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	97
第9章	諏訪盆地の古環境変動史-堆積物コアの岩相- (環境保全研究所自然環境部)	・ ・ ・ ・	119
第10章	諏訪湖の水質の長期的変化に関する整理 (環境保全研究所水・土壌環境部)	・ ・ ・ ・	122
第11章	総括	・ ・ ・ ・	155

資料編

はじめに

本報告書は令和2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・土壤環境部

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：6月上旬～12月上旬



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			
A	36° 03′ 15.03″	138° 03′ 42.50″	2.7 ⁶	0.5	2.0			
B	36° 03′ 29.38″	138° 05′ 52.86″	4.5 ⁶	0.5	—	3.0	4.0	
C	36° 02′ 54.42″	138° 06′ 18.06″	2.4 ⁸	0.5	2.0			
D	36° 02′ 44.39″	138° 04′ 29.10″	5.7 ⁹	0.5	—	3.5	4.0 ²⁾	5.0
E	36° 02′ 44.45″	138° 03′ 51.36″	4.4 ⁰	0.5	—	3.0	4.0	
湖心	—	—	—	0.5	1.5	3.0		5.0

1) 現地水深：令和2年7月30日測定

2) 令和2年6月末より測定開始

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

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。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

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。

一方、7月の月上旬から中旬にかけては、これらの測定点で低下した DO 濃度が 7～8 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、降水量が平年の 2 倍以上とかなり多くなった時期³⁾であり、河川からの流入などを含めた気象の影響を受けたものと思われる。

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2年(2020年)7月、長野地方気象台

湖心の 5m 層では、初めて DO < 3 mg/L となったのは 6 月中旬 (6/13) であったが、継続時間は 1h 程度であった。10 月初めまでは、無酸素～貧酸素状態 (< 3 mg/L) が間欠的に現れた。その後は DO が低下しても主に 4 mg/L 程度までの変動を繰り返し、DO < 3 mg/L になるのは 11/2 の午後の短期間 (30 分程度) が最後であった。

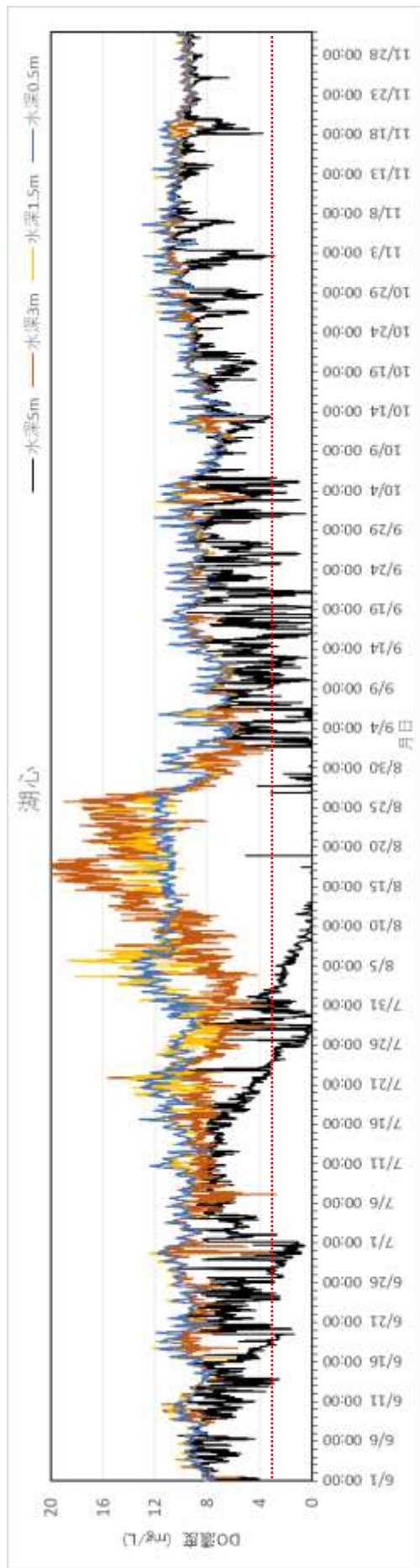
A 点の 2 m 層で初めて DO < 3 mg/L となったのは 6 月中旬 (6/19) であり、継続時間は 3h 程度であった。また、最後に DO < 3 mg/L となったのは 10 月上旬 (10/5) であり、継続時間は 1h 未満であった。

B 点の 4 m 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 2h 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 (10/12～13) であり、継続時間は 9h 程度であった。

C 点の 2 m 層で初めて DO < 3 mg/L となったのは 8 月下旬 (8/27) であり、継続時間は 4h 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 2h 程度であった。

D 点の 5 m 層で初めて DO < 3 mg/L となったのは 6 月中旬 (6/12) であり、継続時間は 1h 未満であった。また、最後に DO < 3 mg/L となったのは 10 月中旬 (10/13) であり、継続時間は 1h 程度であった。

E 点の 4 m 層で初めて DO < 3 mg/L となったのは 6 月中旬 (6/12～13) であり、継続時間は 5h 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 (10/13) であり、継続時間は 5h 程度であった。



(信州大学 担当 (抜粋))

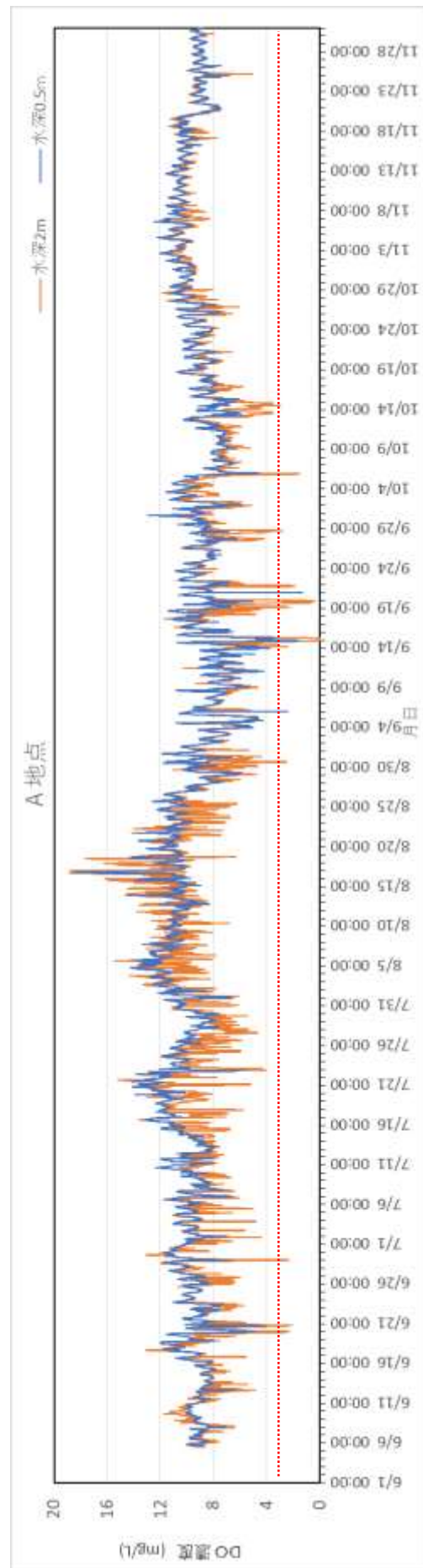


図2-1 各地点における DO 濃度の変動（湖心、A 地点）

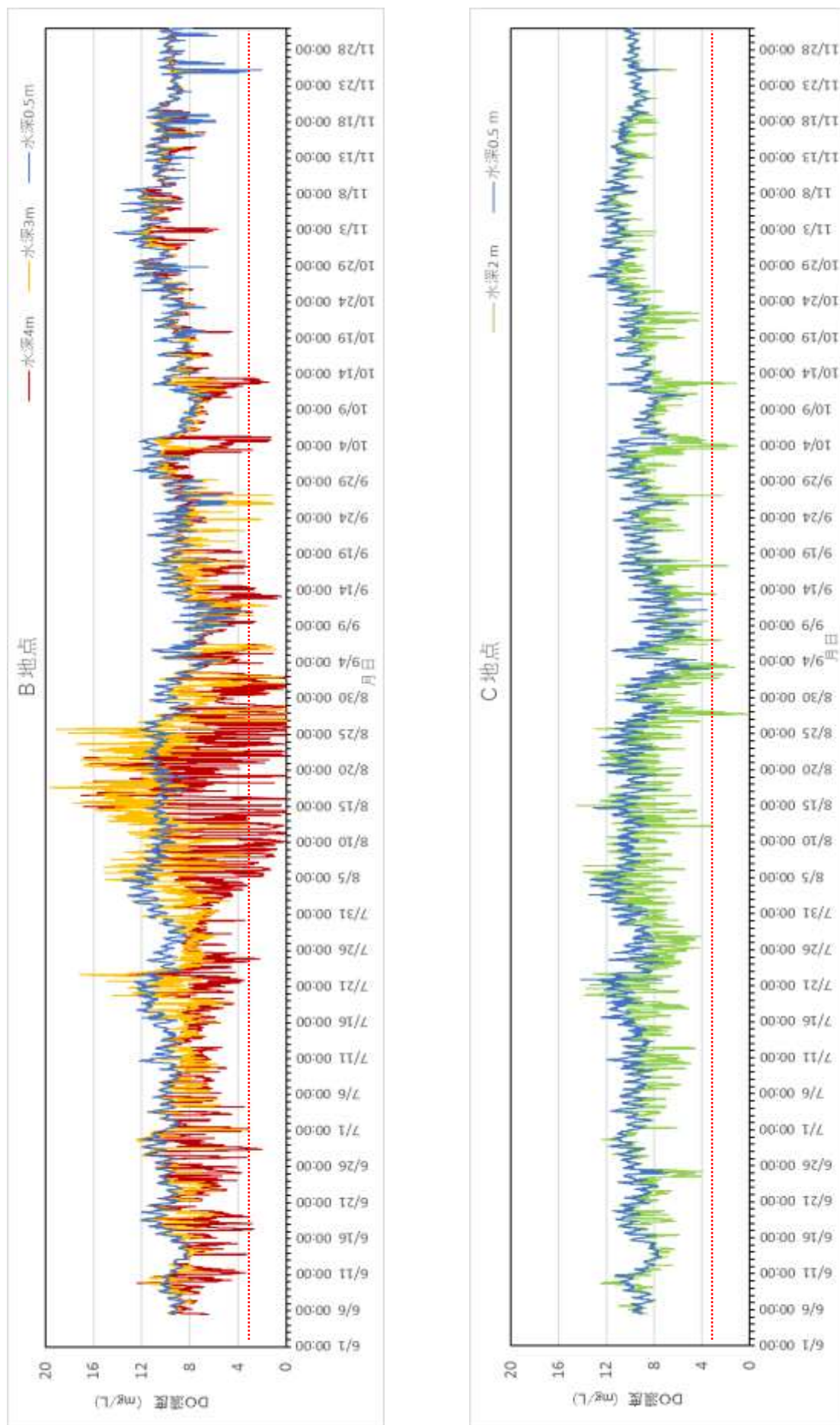


図2-2 各地点におけるDO濃度の変動（B地点、C地点）

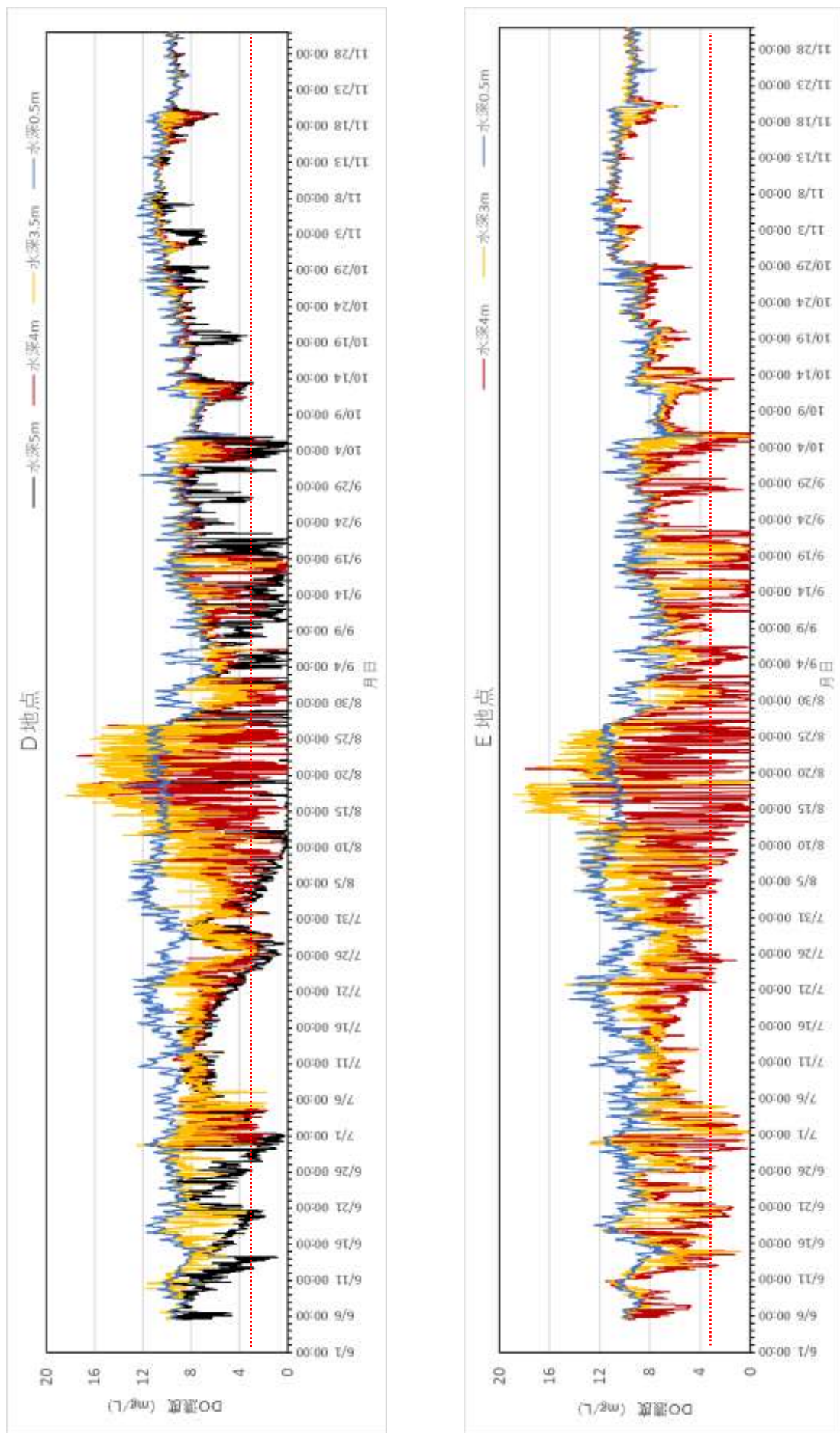


図2-3 各地点における DO 濃度の変動 (D地点、E地点)

なお、各調査月の半月間の期間内測定割合が 50%を下回った期間は、調査期間の 6 月前半～12 月前半の中で、12 月前半（A 地点、B 地点、C 地点、D 地点および E 地点(3～4%)）であった。また、D 地点 4 m 層では 6 月末より測定を開始したため、6 月後半の期間内測定割合は 9%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）。

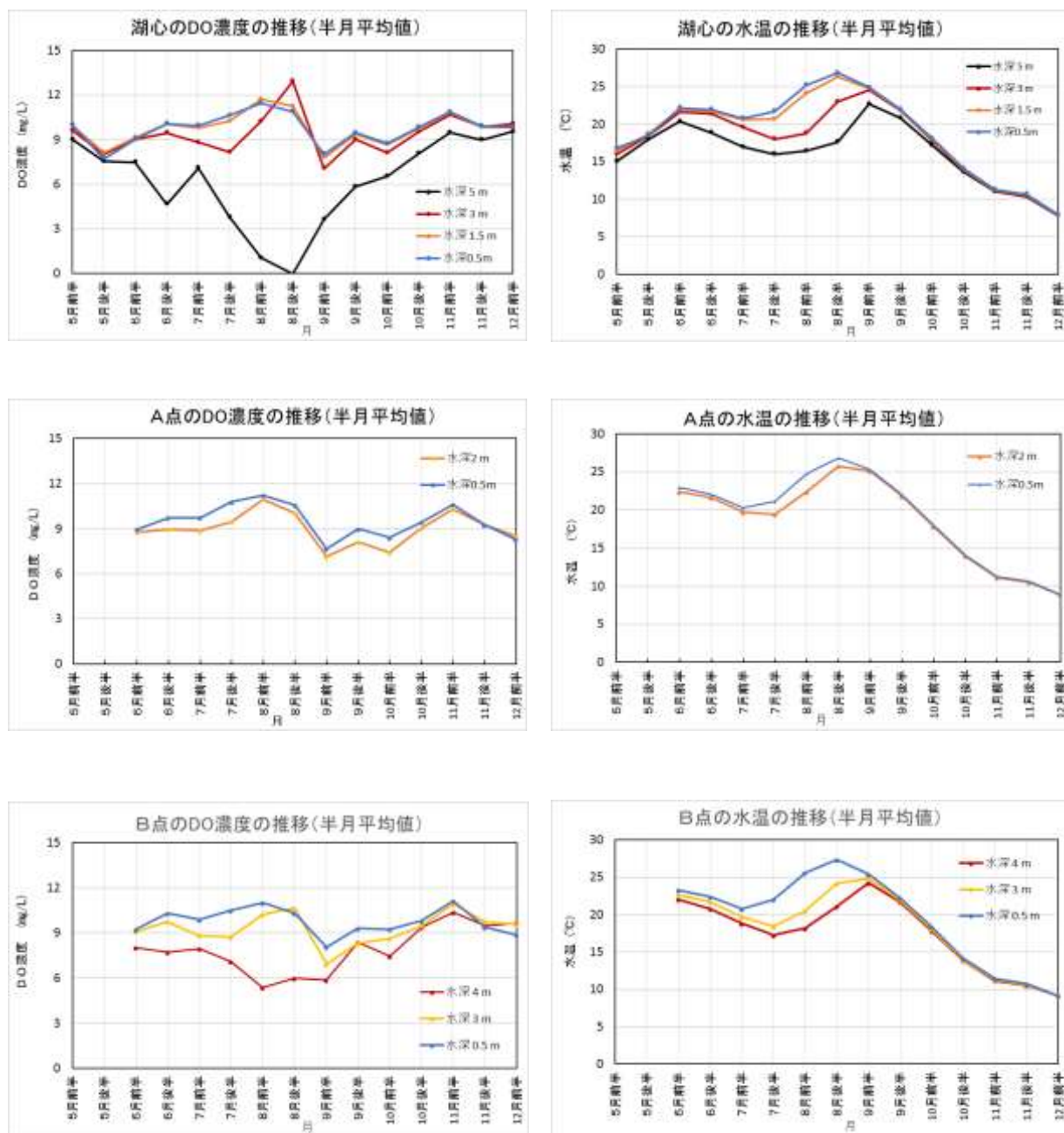


図3-1 各地点における DO、水温の比較(湖心、A地点、B地点)

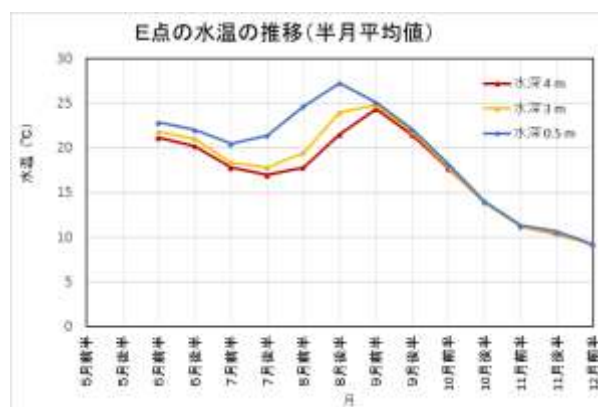
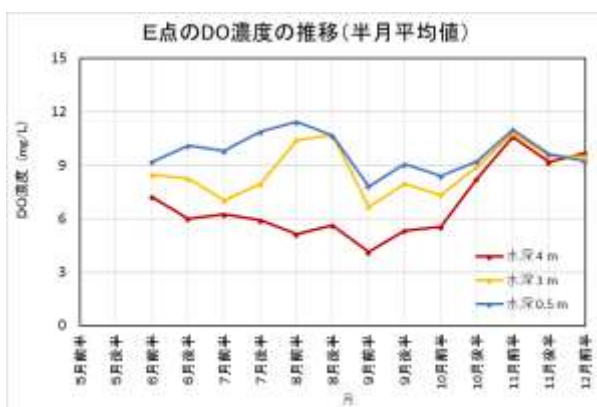
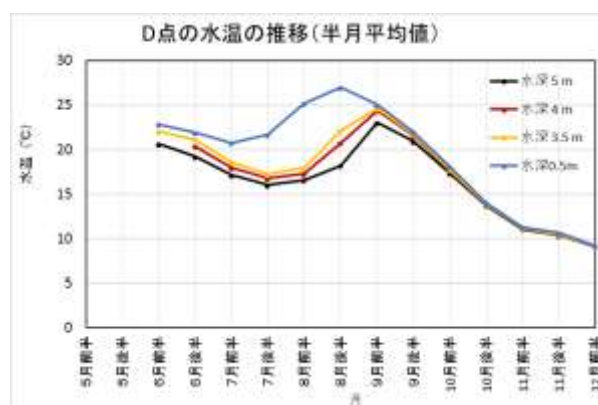
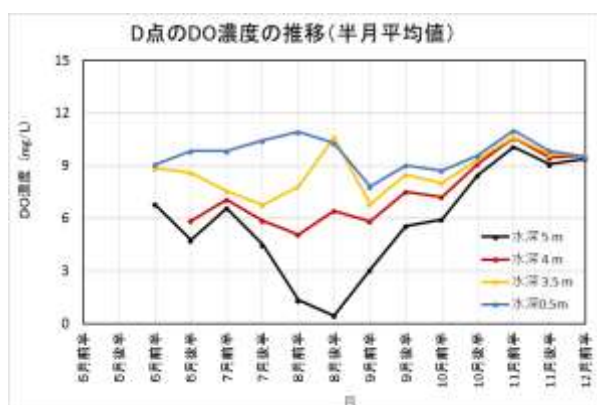
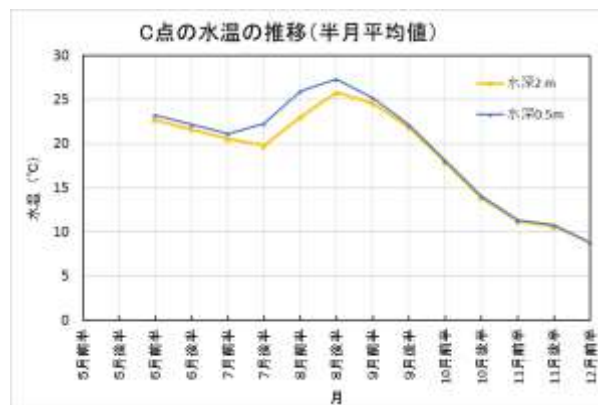


図3-2 各地点におけるDO、水温の比較(C地点、D地点、E地点)

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 2.0 m)での最低値はA地点で 9 月前半の 7.2 mg/L、C 地点で 9 月前半の 6.5 mg/L あった。また、表層(水深 0.5 m) の DO 濃度はそれより 0.1~2 mg/L 程度の範囲で高い濃度であった。

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 2.0 m)の差は 6 月前半~9 月後半にかけて A 地点で 0.2~2.4℃、C 地点で 0.3~2.9℃となり、特に 7 月後半~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 5.4 mg/L (8 月前半) であった。また、水深 3.0 m での DO 半月平均値の最低値は 6.9 mg/L で、表層での DO 半月平均値は 8.1~11 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 月後半~8 月後半で大きく 5~7℃程度であったが、9 月後半以降は差が 0.6℃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 8 月前半~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 0.5 mg/L (8 月後半) であった。また、水深 4.0 m での DO 半月平均値の最低値は 5.1 mg/L (8 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~8 月後半にかけて 4~9℃程度と大きかった。

E 地点では、底層(水深 4.0 m)で DO 半月平均値で 3.0 mg/L を下回る DO 濃度低下はみられず、その最低値は 4.1mg/L (9 月前半) であった。水深 3.0 m では 6.7 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~8 月後半で 3~7℃程度であった。

湖心では、水深 5.0 m で DO 半月平均値が 8 月前半~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 mg/L (8 月後半) であった。また水深 3.0m では 6 月~9 月の DO 半月平均値の最低値が 7.0 mg/L (9 月前半) である一方、8 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 6 月後半~8 月後半にかけて 3~9℃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、

湖心 > D > E > B >> C ≧ A 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）。

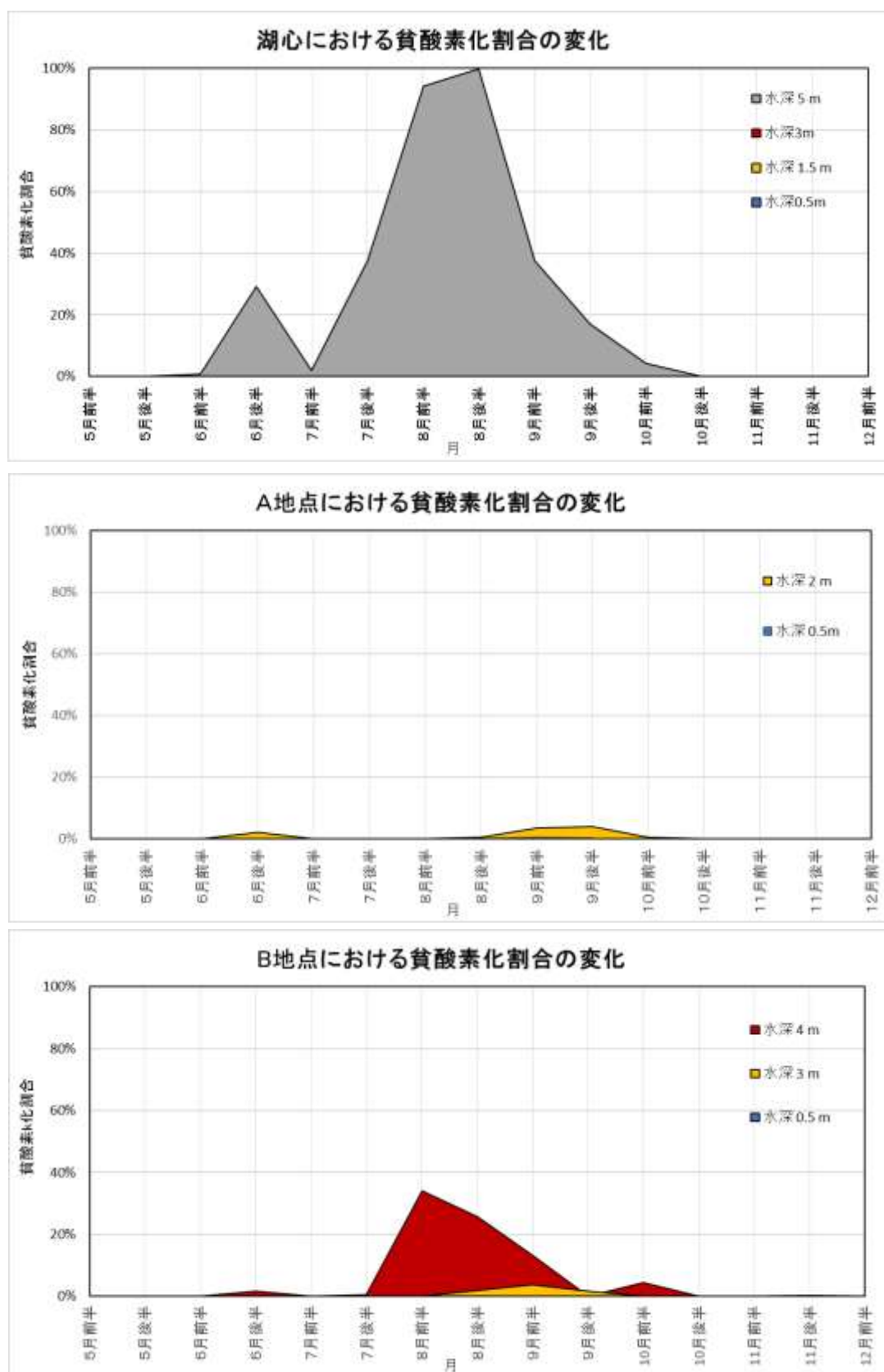


図4-1 各地点における貧酸素化の比較（湖心 A地点、B地点）

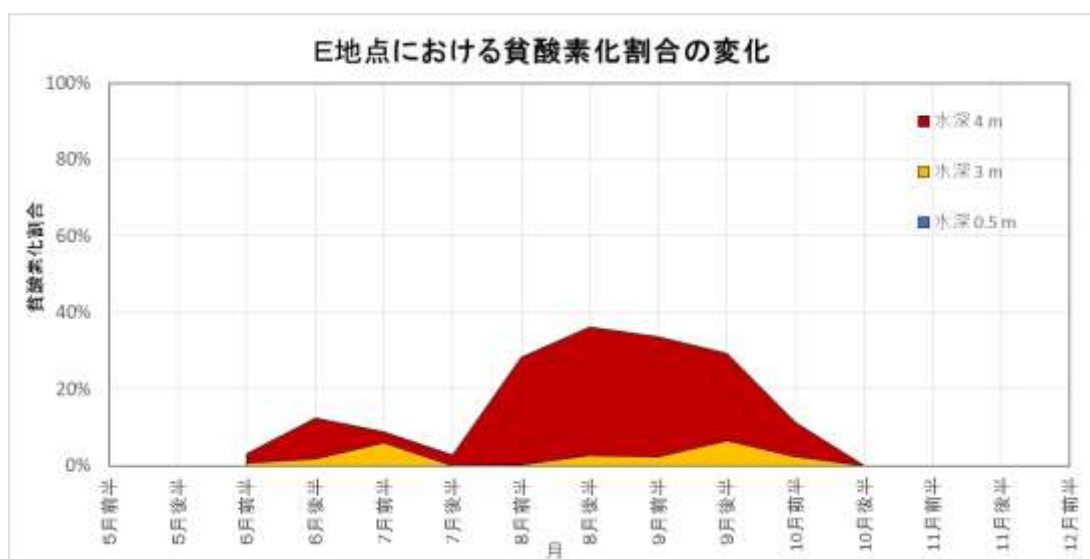
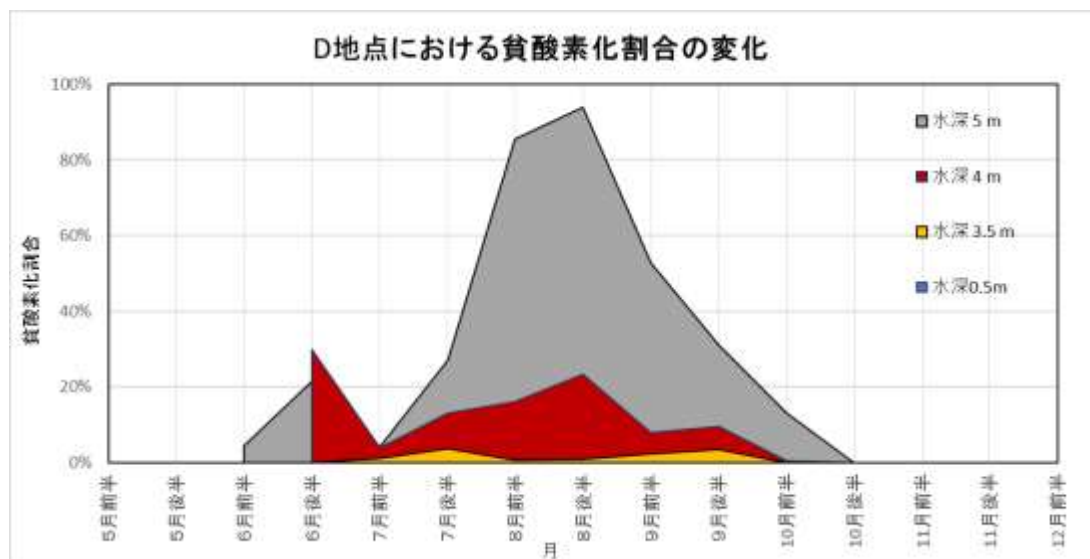


図4-2 各地点における貧酸素化の比較（C地点、D地点、E地点）

各地点の底層の貧酸素化比率をみると、

湖心 > D > E > B >> A ≥ C であつた。

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があまり大きくはならず、最大値は A 地点で 4.0%（9 月後半）、C 地点で 2.9%（10 月前半）であつた。これらは昨年度の値(2019 年度の最大値は A 地点で 11%（9 月後半）、C 地点で 17%（7 月後半））と比べて小さい値であつた。

一方、全水深が深い他の 4 地点では、貧酸素化割合が高いのは 8 月であり、湖心では 94~>99%、D 地点では 85~94%、E 地点では 28~36%、B 地点では 26~34%であつた。

(参考)

2020 年度の各月の風況について

調査期間の 2020 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)。

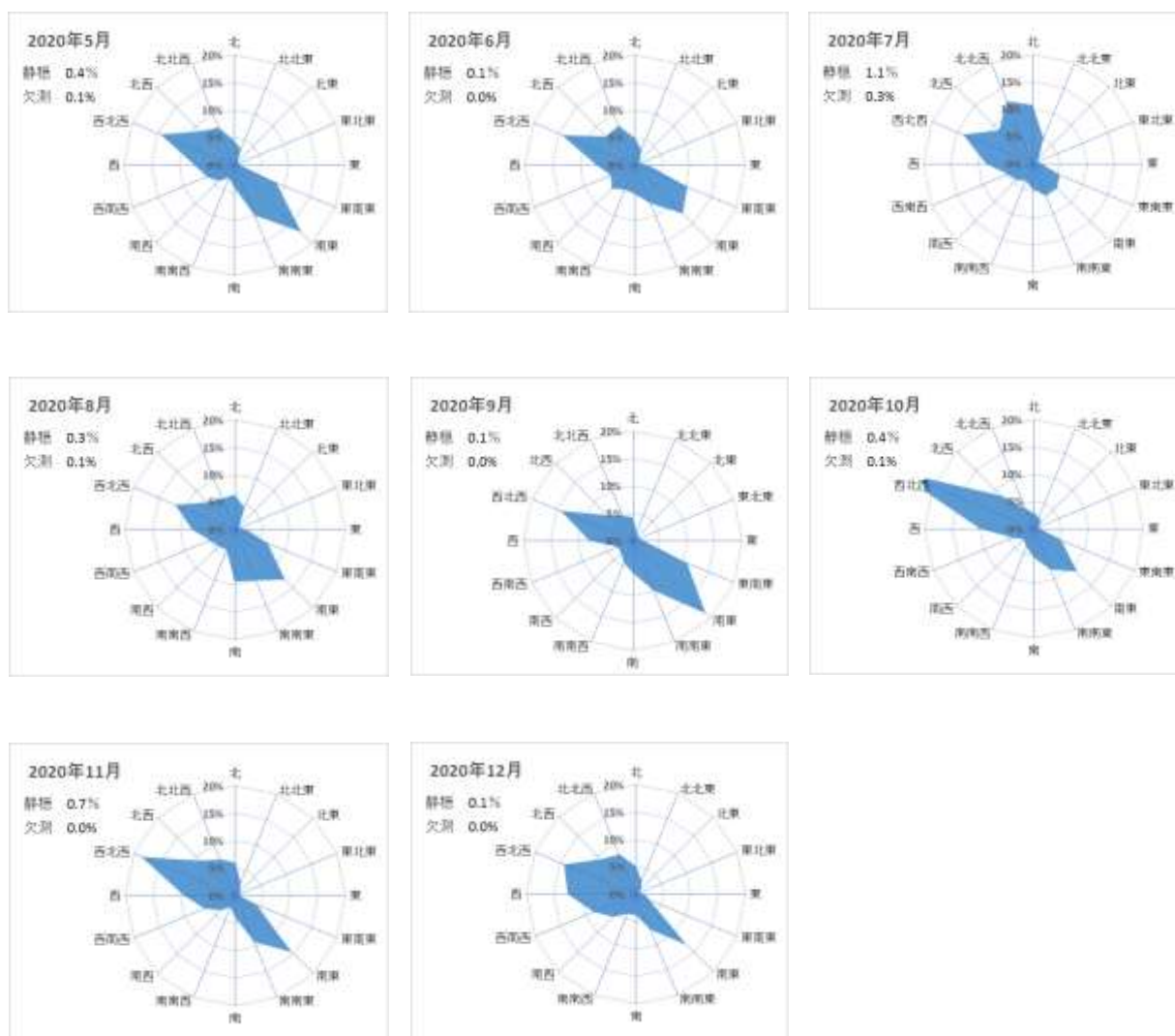


図5 調査期間の各月の風配図

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、5月から9月にかけては、7月を除き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、10月から12月にかけては両者は逆転して、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 1 mL 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

平成 31 年（令和元年）について、平成 30 年 12 月から増加し始めた珪藻類は、更に顕著に増加し、2 月にピークとなった。4 月には珪藻類の増加は落ち着き、続いて小型藍藻類が優占した。7 月後半に大型藍藻類が一旦は優占するも、その後減少した。8 月からは緑藻類（この時の優占種は *Mougeotia*（モウゲチア、ヒザリ属））が顕著に増加し、9 月前半にピークとなった。緑藻類が優占したのは 10 月前半までで、10 月後半からは珪藻類が優先した（図 1）。

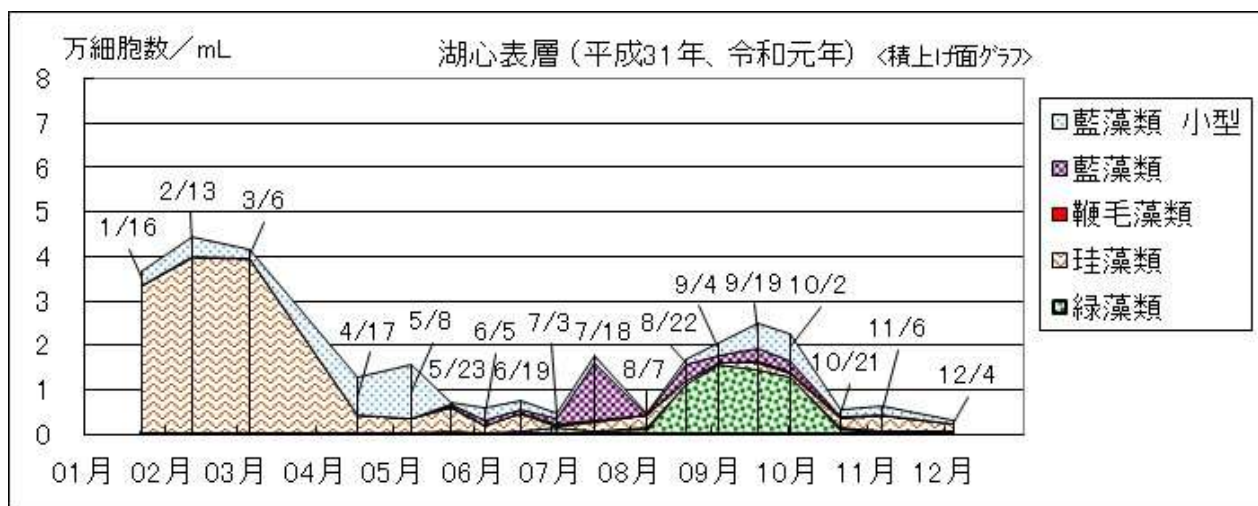


図1 平成 31 年（令和元年）の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

令和 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 月以降は生物量全体は減少に転じたが、珪藻類が優先する状況は続いた。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先した。

令和 3 年に入ると、鞭毛藻類が増加した。鞭毛藻類が優先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* (ディノブリオン、サツギ属) であった (図2、3)。

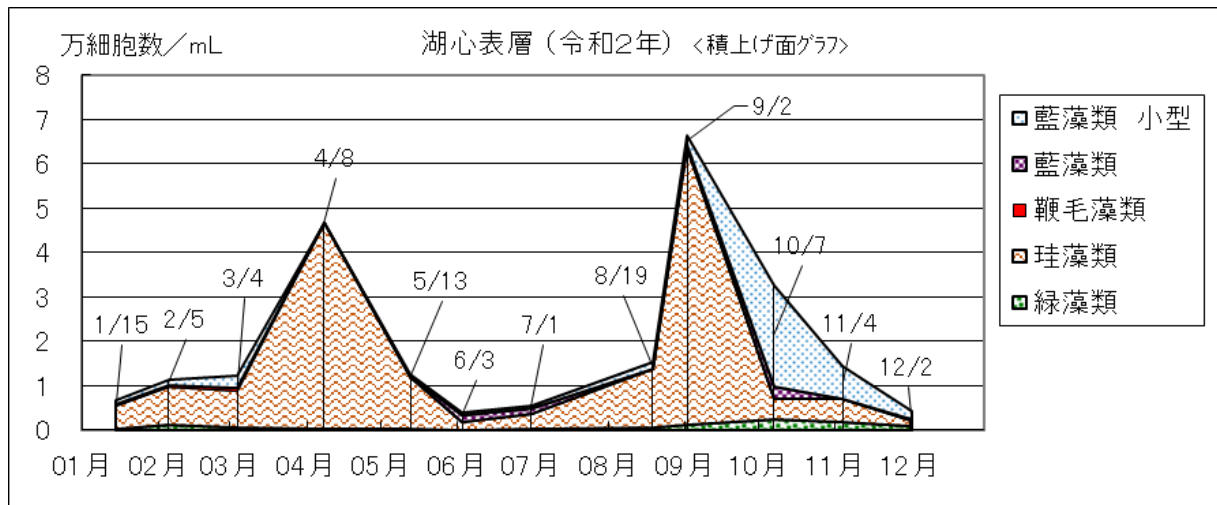


図2 令和2年の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

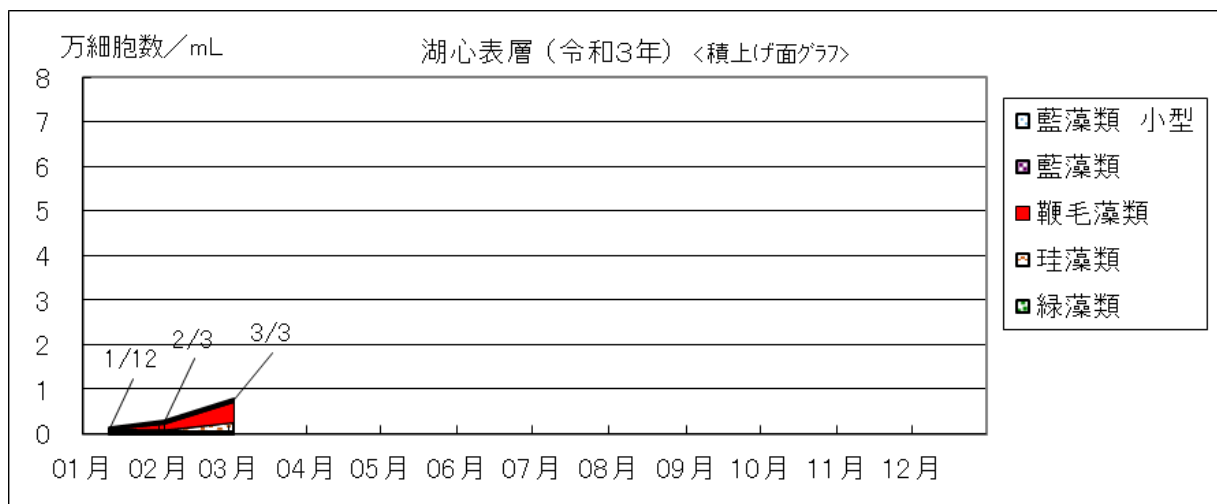


図3 令和3年の湖心表層における植物プランクトン細胞数の推移

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 17 日

動物プランクトンの総数は 1492.0 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 55.0 個体/L で、コドネラ属、チンチニディウム属が確認された。ワムシ類の個体数は 688.9 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、ハネウデワムシ属、ミツウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 42.8 個体/L で、ノープリウス幼生、ケンミジンコ目、コペポデイド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は 705.2 個体/L で、そのほとんどがゾウミジンコ、わずかにマルミジンコ属が確認された。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 2020 年 4 月 17 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>Keratella</i> (カメノコウワムシ属)



ゾウミジンコ属



カメノコウワムシ属

○5月11日

動物プランクトンの総数は 1522.5 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 175.3 個体/L で、エピスティリス属、ディディニウム属などが確認された。肉質虫類の個体数は 2.0 個体/L で、太陽虫綱のみが確認された。ワムシ類の個体数は 366.9 個体/L であった。内、個体数の多い種はカメノコウワムシ属、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 89.7 個体/L で、ノープリウス幼生、ケンミジンコ目、コペポディド幼生などが確認された。ミジンコ類の個体数は 888.7 個体/L で、ゾウミジンコのみが確認された。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2020年5月11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>Keratella</i> (カメノコウワムシ属)



ゾウミジンコ属



カメノコウワムシ属

○5月25日

動物プランクトンの総数は 1139.4 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、エピスティリス属、ツリガネムシ属が確認された。ワムシ類の個体数は 955.9 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、テマリワムシ属、ハネウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 97.8 個体/L で、ノープリウス幼生、コペポディド幼生、ケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は 75.4 個体/L で、そのほとんどがゾウミジンコ、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 2020年5月25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	ワムシ類	<i>Conochilus</i> (テマリワムシ属)
-------	------	-----------------------------



カメノコウワムシ属



テマリワムシ属

○6月22日

動物プランクトンの総数は 4386.2 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 130.9 個体/L で、コドネラ属、エピステリス属、チンチニディウム属が確認された。肉質虫類の個体数は 51.0 個体/L で、太陽虫綱が確認された。ワムシ類の個体数は 4211.0 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、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 18.3 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 2.0 個体/L で、カブトミジンコのみが確認された。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2020 年 6 月 22 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)



ハネウデワムシ属



ドロワムシ属

○7月27日

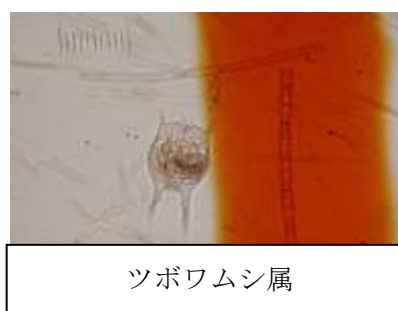
動物プランクトンの総数は 2162.5 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 55.0 個体/L で、チンチニディウム属、コドネラ属、エピステリス属などが確認された。肉質虫類の個体数は 16.3 個体/L で、ツボカムリ属が確認された。ワムシ類の個体数は 2070.8 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ツボワムシ属、ミツウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 10.2 個体/L で、ヒゲナガケンミジンコ目、ケンミジンコ目、ノープリウス幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は 10.2 個体/L で、ゾウミジンコ、ニセゾウミジンコ、ノロが確認された。

観察された主な動物プランクトン (採水日 2020 年 7 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>Brachionus</i> (ツボワムシ属)



ハネウデワムシ属



ツボワムシ属

○8月24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 2020 年 8 月 24 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	ワムシ類	<i>Polyarthra</i> (ハネウデワムシ属)



カメノコウワムシ属



ハネウデワムシ属

○9月23日

動物プランクトンの総数は 1561.3 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 20.4 個体/L で、エピスティリス属およびチンチニディウム属が確認された。肉質虫類の個体数は 8.2 個体/L で、ツボカムリ属および太陽虫綱が確認された。ワムシ類の個体数は 1375.8 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、カメノコウワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 103.9 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 53.0 個体/L で、ニセゾウミジンコ、ゾウミジンコ、オナガミジンコ、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 2020 年 9 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>Trichocerca</i> (ネズミワムシ属)
--------	------	------------------------------



ハネウデワムシ属



ネズミワムシ属

○10月21日

動物プランクトンの総数は 358.7 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 26.5 個体/L で、エプステイリス属およびチンチニディウム属が確認された。ワムシ類の個体数は 267.0 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ネズミワムシ属、カメノコウワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 28.5 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 36.7 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、シカクミジンコ属が確認された。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 2020 年 10 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>Trichocerca</i> (ネズミワムシ属)



ハネウデワムシ属



ネズミワムシ属

○11月24日

動物プランクトンの総数は 3293.8 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 460.6 個体/L で、チンチニディウム属およびツリガネムシ属が確認された。肉質虫類の個体数は 2.0 個体/L で、太陽虫綱が確認された。ワムシ類の個体数は 2772.0 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ドロワムシ属およびカメノコウワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 32.6 個体/L で、コペポディド幼生、ノープリウス幼生およびケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は 26.5 個体/L で、ニセゾウミジンコ、ゾウミジンコおよび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 2020 年 11 月 24 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)



ハネウデワムシ属



ドロワムシ属

○12月18日

動物プランクトンの総数は 2804.6 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 99.9 個体/L で、チンチニディウム属、ツリガネムシ属などが確認された。ワムシ類の個体数は 2663.9 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、ドロワムシ属およびカメノコウワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 22.4 個体/L で、ノープリウス幼生およびコペポディド幼生が確認された。ミジンコ類の個体数は 18.3 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 2020 年 12 月 18 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)



ハネウデワムシ属



ドロワムシ属

○2月22日

動物プランクトンの総数は 1869.0 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は 2.0 個体/L で、コドネラ属のみ確認された。肉質虫類の個体数は 2.0 個体/L で、ナベカムリ属のみ確認された。ワムシ類の個体数は 1812.0 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、カメノコウワムシ属およびドロワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は 51.0 個体/L で、ノープリウス幼生、コペポディド幼生、ケンミジンコ目が確認された。ミジンコ類の個体数は 2.0 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 2 月 22 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>Keratella</i> (カメノコウワムシ属)

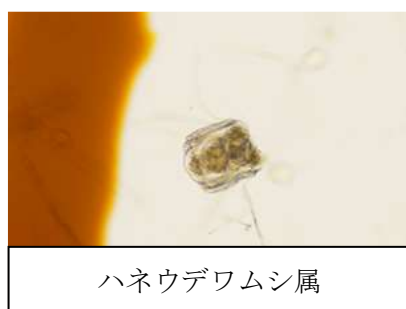


○3月19日

動物プランクトンの総数は2831.1 個体/L であった。繊毛虫類の個体数は8.2 個体/L で、コドネラ属、ツリガネムシ属が確認された。ワムシ類の個体数は2659.9 個体/L であった。内、個体数の多い種はハネウデワムシ属、カメノコウワムシ属およびミツウデワムシ属などであった。カイアシ類の個体数は136.6 個体/L で、ノープリウス幼生、コペポディド幼生、ケンミジンコ目を確認された。ミジンコ類の個体数は26.5 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3月19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>Keratella</i> （カメノコウワムシ属）



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した後、10月下旬まで緩やかに減少し、11月下旬に再増加すると、2月下旬まで緩やかに減少し、3月中旬に増加した。なお、1月は湖面結氷の欠測となった。

平成30年度および令和元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。特に平成30年度、令和2年度は通年を通してワムシ類が多かった。この2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。一方、令和2年度、平成30年度および令和元年度のピーク時期はそれぞれ6月下旬、10月下旬および5月下旬と、各年の総数の推移は異なっていた。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4月には既に増加しており、長期間発生が続いた。また、今年度のみ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。効率よく植物プランクトンを摂餌する本種が多数出現したことで、5月下旬から6月上旬にかけて植物プランクトン量が減少し、諏訪湖内の透明度が一時的に2～3mまで増加した。しかし、これ以外では珪藻類や緑藻類が増加する春季および秋季に動物プランクトンが増加する傾向が見られる程度で、動物プランクトンと植物プランクトンの変動はあまり明瞭ではない。その要因として植物プランクトンは動物プランクトンの摂餌の影響を受けた結果で、動物プランクトンに摂餌されなかったものが確認されていること、その動物プランクトンも上述したようにより高次捕食者の影響を受けていることが考えられる。

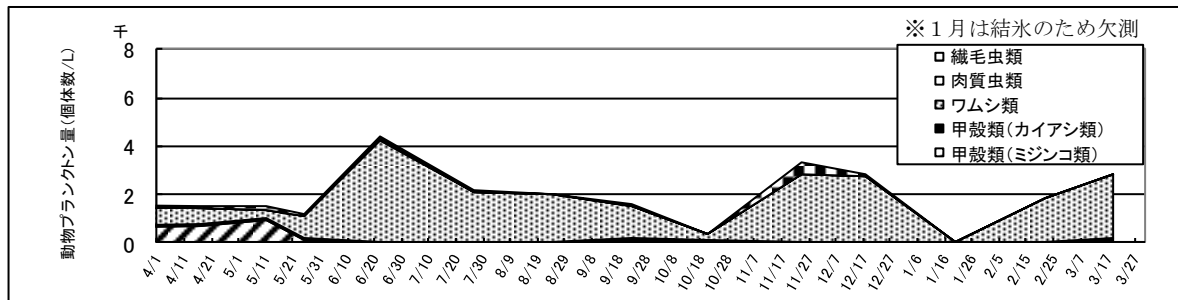


図1 令和2年度の動物プランクトンの個体数

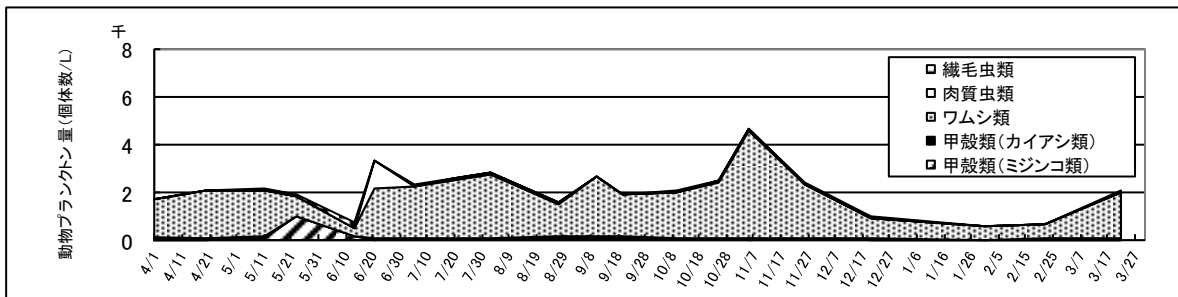


図2 平成30年度の動物プランクトンの個体数

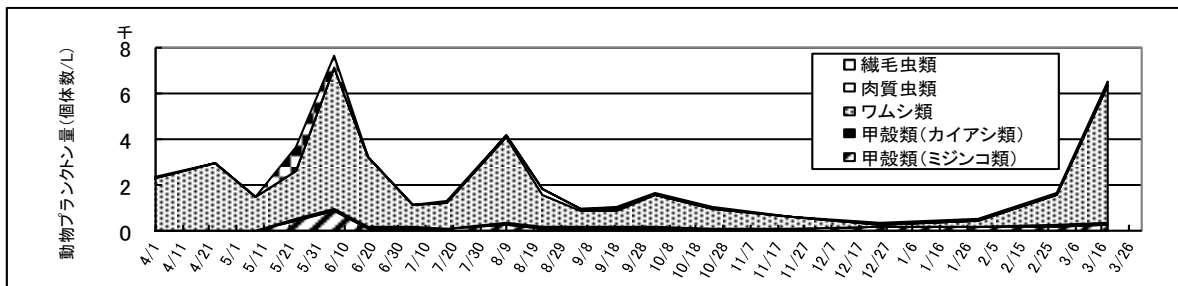


図3 令和元年度の動物プランクトンの個体数

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、6月下旬、11月下旬、3月中旬に回急増した。平成30年度、令和元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、3年間で異なっていた。

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。渋崎区は、平成27年度に覆砂した試験区内の地点①及び比較対照として試験区外側の地点②を調査地点とした。湖岸通り区は、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。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)*	底質	備考
渋崎区	①	試験区	試験区内・岸から25m	1.2	砂	H27 覆砂実施
	②	対照区	岸から100m (湖心線)	2.4	泥	
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	1.7	泥	

※水深は水質調査日に測定した平均値

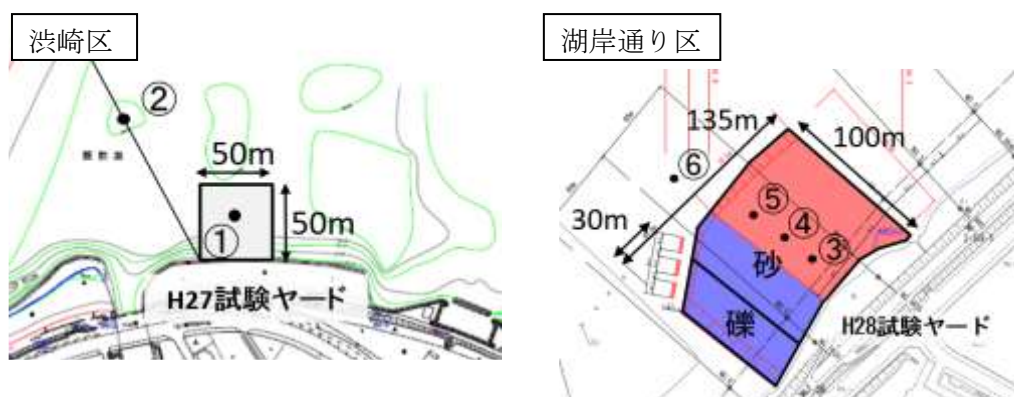


図1 調査地点図

3.1.2.2. 調査日

5月21日、8月11日、11月12日

3.1.2.3. 採水深度・採水方法

湖底から20cm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（20mL/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 渋崎区 (地点①、②)

平成 27 年度に覆砂した試験区の地点①について、対照区の地点②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>

渋崎区の底層水のアンモニア性窒素 (NH₄-N) 濃度及び亜硝酸性窒素 (NO₂-N) 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。硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 濃度は、5、8 月に試験区の方がそれぞれ 0.12、0.15 mg/L 低く、無機態窒素 (DIN) 濃度、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、5、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 0.04、0.06、0.14 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、調査日においては、硝酸性窒素の濃度が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 5、8 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 0.1～0.2 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が見られ、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）による影響が考えられるが、さらに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>

浜崎区の底層水のりん酸態りん ($\text{PO}_4\text{-P}$) 濃度は、5、8 月に対照区に比べて試験区の方がそれぞれ 0.002、0.003 mg/L 低かった。特に水温が上昇する夏季においては、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、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 0.023、0.013 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 6～8 割) が同程度低下していた。また、懸濁態成分と関係する浮遊物質 (SS) 濃度は、8、11 月に試験区の方がそれぞれ 3、2 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 8、11 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 0.01～0.02 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係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>

底層水の溶存酸素 (DO) 濃度について、5 月は 8 mg/L 程度、8、11 月は 10～11 mg/L 程度であり、採水日時（各調査日の 9～12 時）においては試験区と対照区の濃度差は確認されなかった。また、調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差も小さかった（0～1 mg/L 程度）。

<水生植物の状況>

8 月の調査日 (8/11) において、試験区ではヒロハノエビモの群落が観察され、対照区では水生植物は観察されなかった。また、5 月、11 月の調査日において水生植物は観察されなかった。

3.1.3.2 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 3 に、地点毎の底層水と表層水の濃度差

を図5に示す。

<窒素>

湖岸通り区の底層水の各態窒素について、アンモニア性窒素濃度は5、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、0.05、0.02 mg/L 低く、亜硝酸性窒素濃度は8月に試験区の方が0.01 mg/L 低く、硝酸性窒素濃度は8、11月に試験区の方がそれぞれ0.22、0.07 mg/L 低かった。また、無機態窒素濃度は8、11月に試験区の方がそれぞれ0.29、0.09 mg/L 低く、全窒素は8、11月に試験区の方がそれぞれ0.21、0.11 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、特に水温が上昇する夏季については、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ており、また硝酸性窒素の濃度が無機態窒素や全窒素の濃度に影響していた。

さらに、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、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8月、11月に全窒素、溶解性窒素、無機態窒素、硝酸性窒素及び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0.05～0.2 mg/L 程度：調査地点間の水平方向の濃度差と同程度）、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）による影響が考えられるが、さらに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>

湖岸通り区の底層水のりん酸態りん濃度は、8、11月に対照区に比べて試験区の方が0.002 mg/L 程度低かった。

全りん濃度は、5、8月に試験区の方がそれぞれ0.003、0.007 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6～8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、5月に試験区の方が4 mg/L 低かったが、8月に濃度差は見られなかった。調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差の比較からは、試験区、対照区ともに濃度差は小さく、明確な傾向は見られなかった。

<溶存酸素>

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9～11 mg/L 程度であり、対照区では8月調査日に試験区より2.3 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3 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（8/11）において、試験区でクロモ、ヒロハノエビモ、ホソバミズヒキモの群落が観察され、対照区ではクロモが繁茂していた。5月、11月に水生植物は観察されなかった。

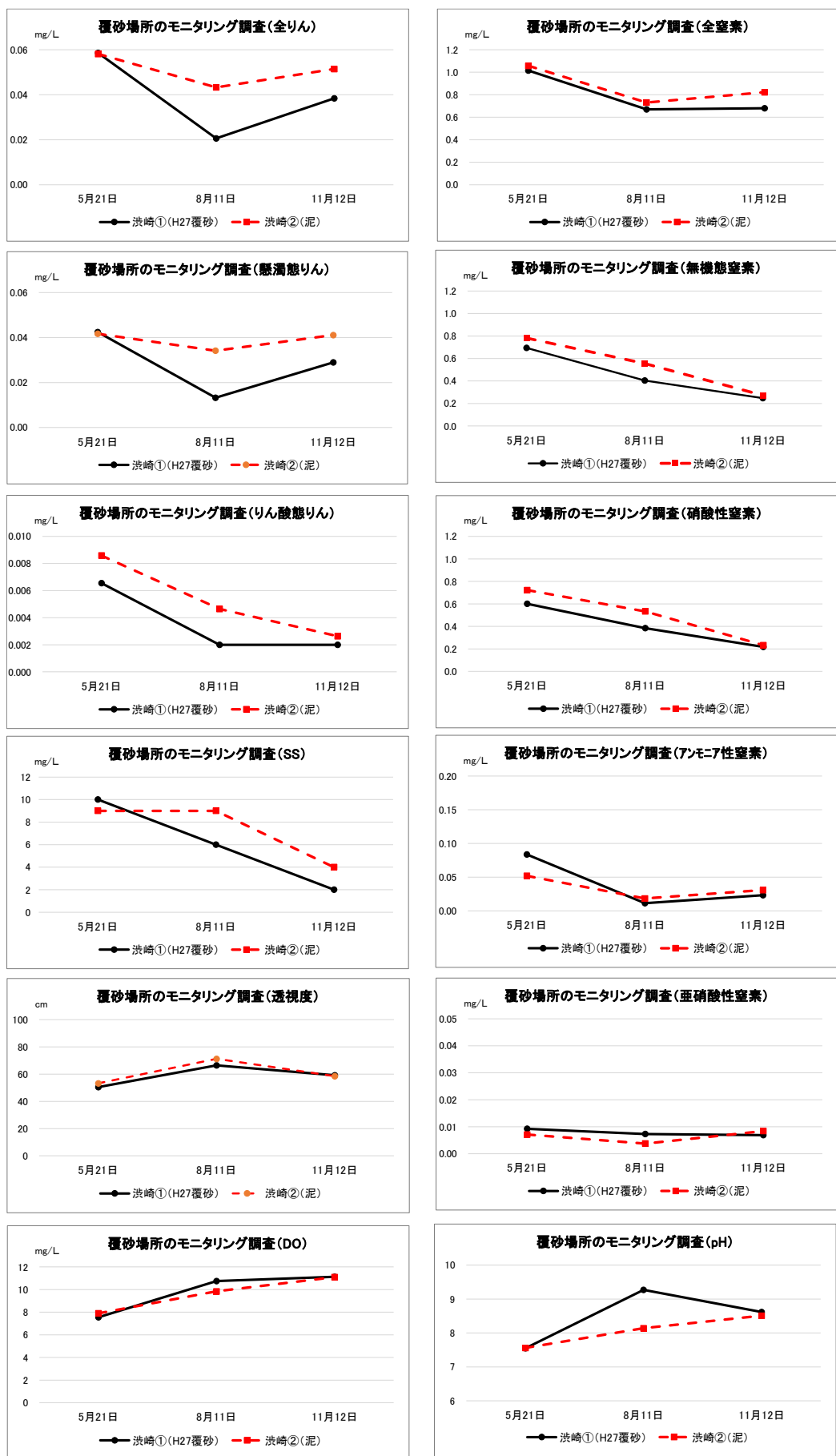


図2 洪崎区における水質測定結果

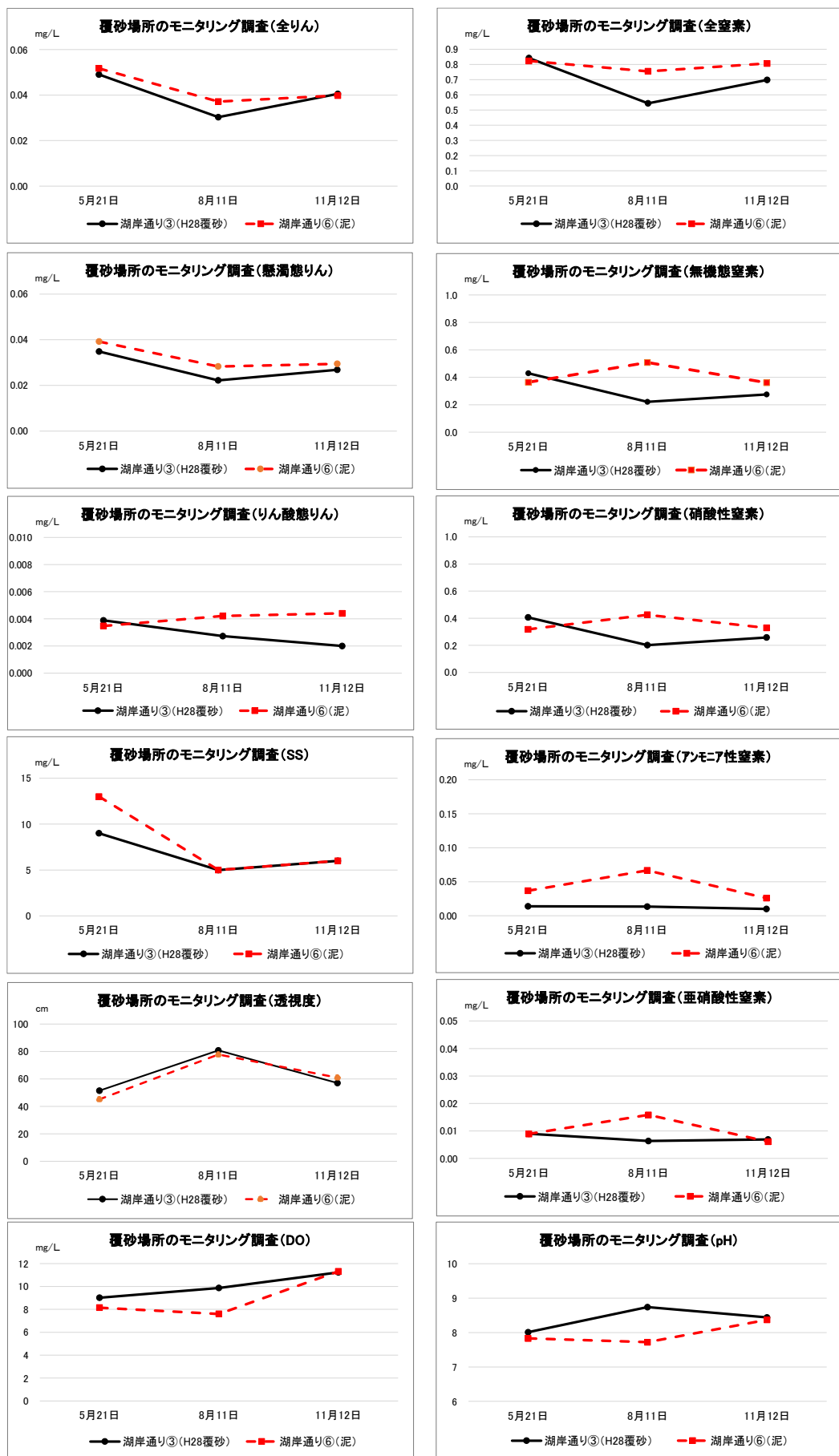


図3 湖岸通り区における水質測定結果

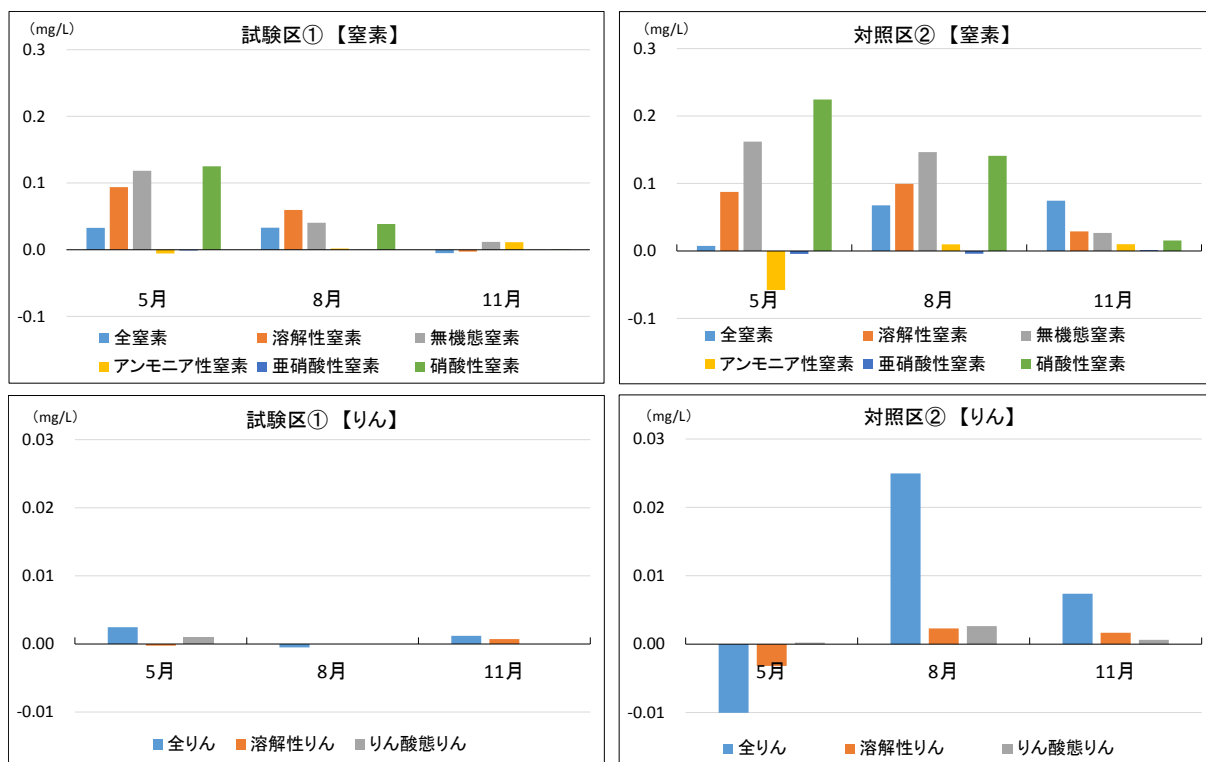


図4 地点毎の底層水と表層水の濃度差【渋崎区】（上段：窒素、下段：りん）
（縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値）

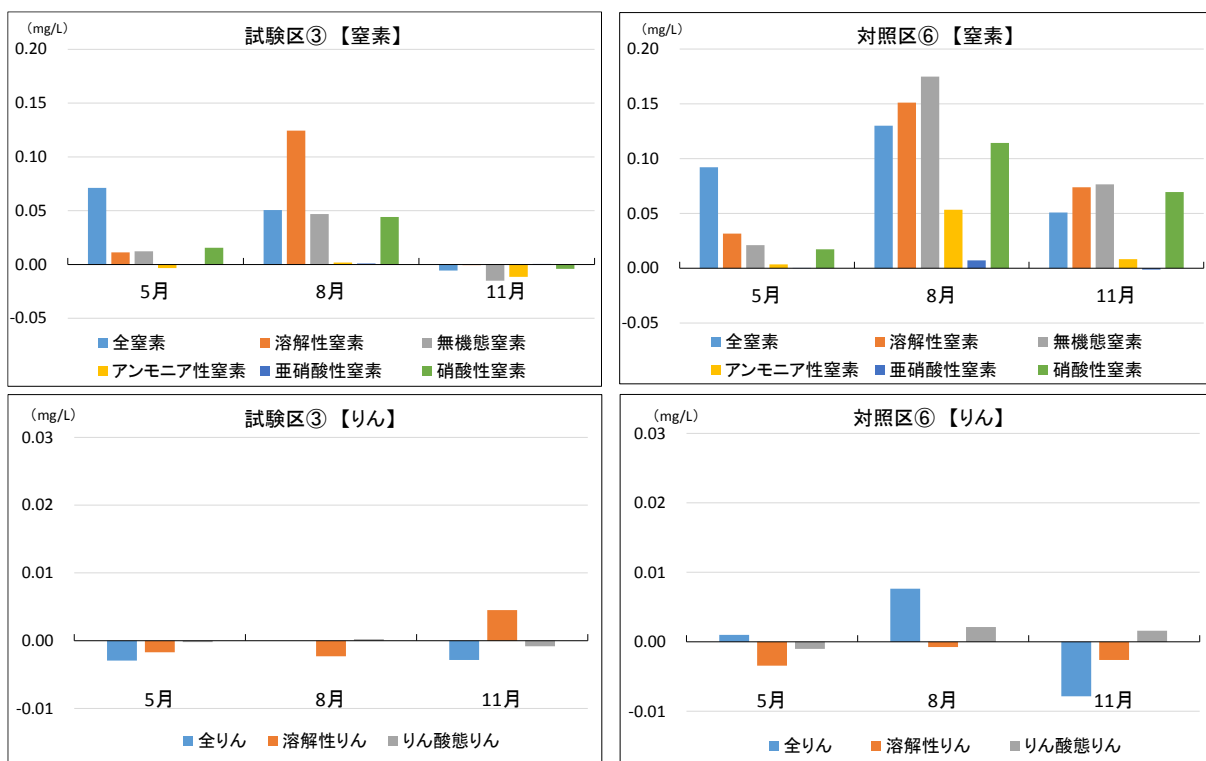


図5 地点毎の底層水と表層水の濃度差【湖岸通り区】（上段：窒素、下段：りん）
（縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値）

3.1.4. まとめ

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、全窒素等の濃度について、全般的には対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られた。特に、水温が上昇する夏季（8月）に湖岸通り区でその傾向が顕著であり、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。（渋崎区では、夏季のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素の濃度差は確認されなかった。）

りん酸態りん、全りん等の濃度について、全般的には対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られ、特に水温が上昇する夏季（8月）に渋崎区で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による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。

溶存酸素濃度について、湖岸通り区で夏季に対照区の方がやや低く、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。湖岸通り区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について、R2年度は梅雨明けが例年より遅く夏季の日照時間が少なく、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が8月調査日でH30又はR1年より1～4℃程度低かったため（8月採水日[対照区]底層水温平均 H30：27.6℃、R1：24.8℃、R2：23.5℃）、試験区と対照区の濃度差はH30、R1調査より小さかったが、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。洪崎区は、平成27年度に覆砂した試験区内の地点①及び比較対照として試験区外側の地点②を調査地点とした。湖岸通り区は、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。なお、R1年度まで実施していた地点④及び⑤は、調査の効率化のため今年度は調査対象外とした。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)*	底質	備考
洪崎区	①	試験区	試験区内・岸から25m	1.1	砂	H27 覆砂実施
	②	対照区	岸から100m(湖心線)	2.4	泥	
湖岸通り区	③	試験区	試験区内・岸から25m	0.9	砂	H28 覆砂実施
	④	試験区	試験区内・岸から50m	-	砂	H28 覆砂実施
	⑤	試験区	試験区内・岸から75m	-	砂	H28 覆砂実施
	⑥	対照区	岸から130m	1.7	泥	

※水深は底質調査日に測定した平均値。

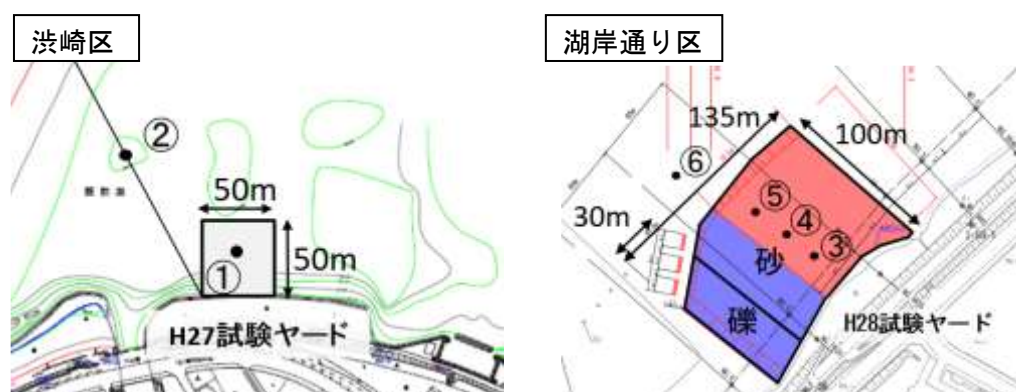


図1 調査地点図

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 5/14、秋期 12/3
- 底泥酸素消費速度調査：夏期 7/15、7/29、秋期 10/14、10/27

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
全硫化物	検知管法(全国漁業協同組合連合会(社)全国かん水養魚協会 硫化物の簡易測定法マニュアル)
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℃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

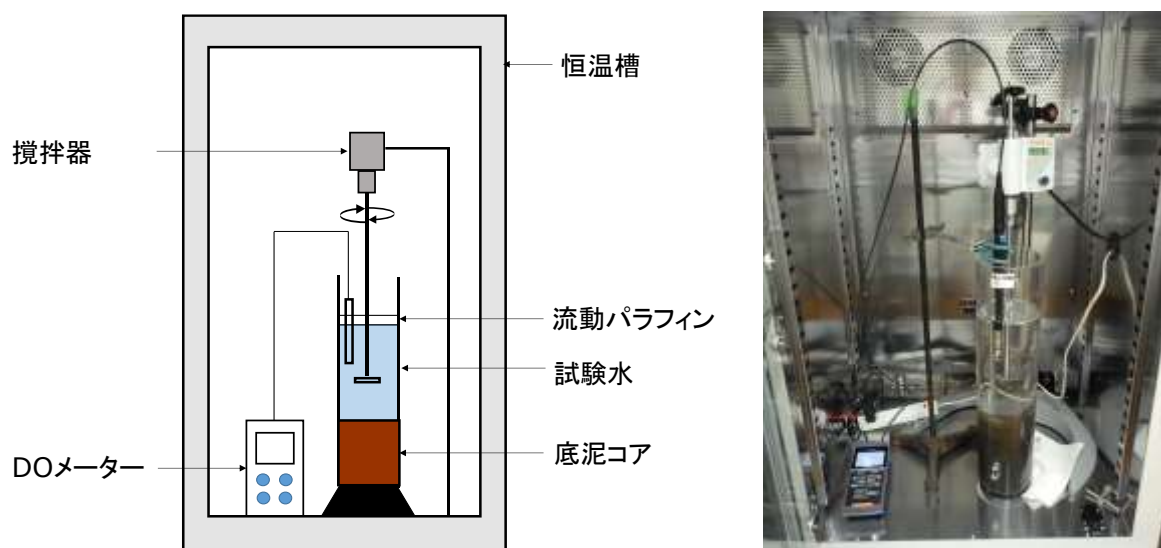


図2 底泥酸素消費速度 実験装置（左：模式図、右：写真）

3.2.3. 調査結果

3.2.3.1. 洪崎区(地点①、②)

平成27年度に覆砂した試験区について5年程度経過した状況について確認するとともに、対照区と比較して覆砂による底質改善状況を調査した。なお、地点①は砂状、地点②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2年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点①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②の値(11.2~11.4%)と比べて平均9.5ポイント低かった（対②比16%）。また、試験区①、対照区②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①の強熱減量の値は、覆砂前(平成27年4月)が14%であったが覆砂後は2%程度に改善し、R2年度の値も2%程度を維持していた。なお、対照区②の値は9~11%程度で推移している。

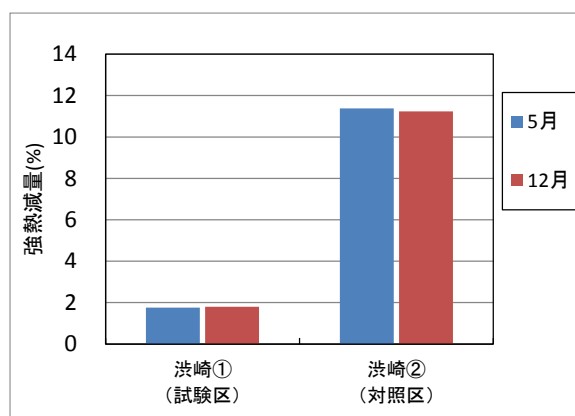


図3 強熱減量のR2年度測定結果【洪崎区】

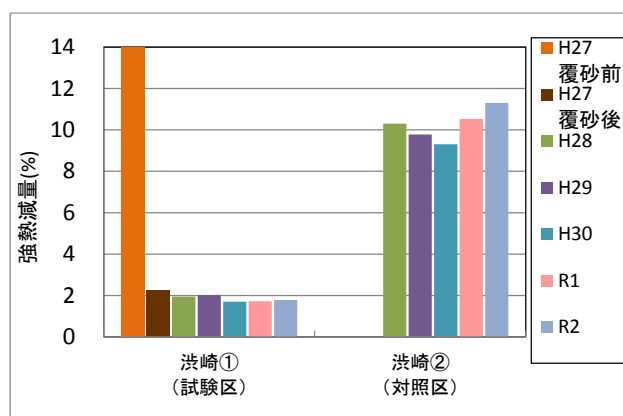


図4 強熱減量の経年変化【洪崎区】

＜全窒素＞

測定結果を図 5 に、経年変化を図 6 に示す。

令和 2 年度の測定結果について、覆砂した試験区①の全窒素濃度は 0.18～0.19 mg/g であり、対照区②の濃度(3.09～3.14 mg/g)と比べて平均 2.9 mg/g 低かった（対②比 6%）。また、試験区①、対照区②ともに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①の全窒素濃度は、平成 27 年度の覆砂前が 3.7 mg/g であったが覆砂後は 0.08～0.16 mg/g と非常に低い値に改善され、H28、H29 年度はそれぞれ 0.15～0.17 mg/g、0.12～0.23 mg/g と低い値を維持していた。H30 年度はこれまでよりやや高目の値(0.25～0.27 mg/g)であったが、R1、R2 年度はこれまでと同程度の低い値(0.19～0.21 mg/g 程度)であった。なお、対照区②の値は 2.5～3 mg/g 程度で推移している。

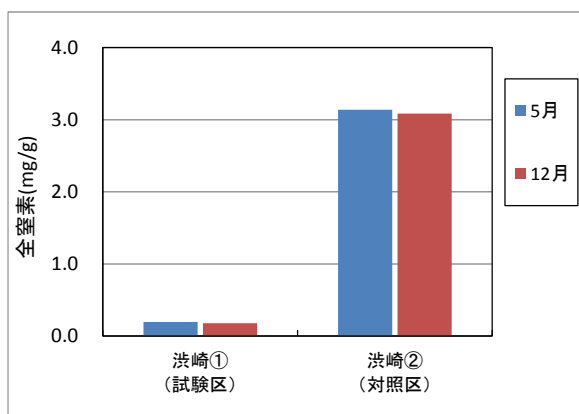


図 5 全窒素の R2 年度測定結果【渋崎区】

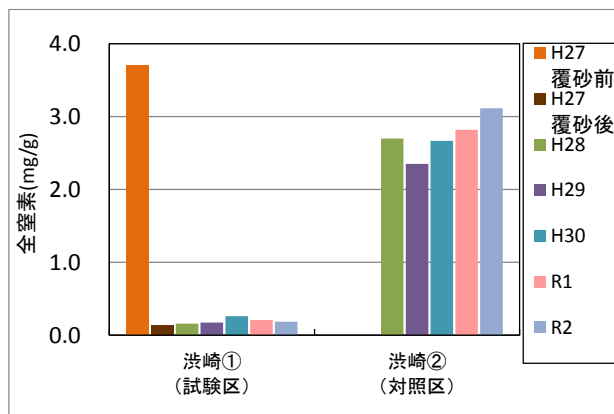


図 6 全窒素の経年変化【渋崎区】

＜全りん＞

測定結果を図 7 に、経年変化を図 8 に示す。

令和 2 年度の測定結果について、覆砂した試験区①の全りん濃度は 0.55～0.57 mg/g であり、対照区②の濃度(1.52～1.68 mg/g)と比べて平均 1.0 mg/g 低かった（対②比 33%）。また、試験区①、対照区②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①の全りん濃度は、平成 27 年度の覆砂前が 2.1 mg/g であったが覆砂後は 0.54～0.64 mg/g と低い値に改善され、H28、H29、H30、R1 年度はそれぞれ 0.56～0.58 mg/g、0.55～0.62 mg/g、0.55～0.65 mg/g、0.55 mg/g 程度であり、R2 年度も 0.56 mg/g 程度と低い値を維持していた。なお、対照区②の値は 1.5～1.7 mg/g 程度で推移している。

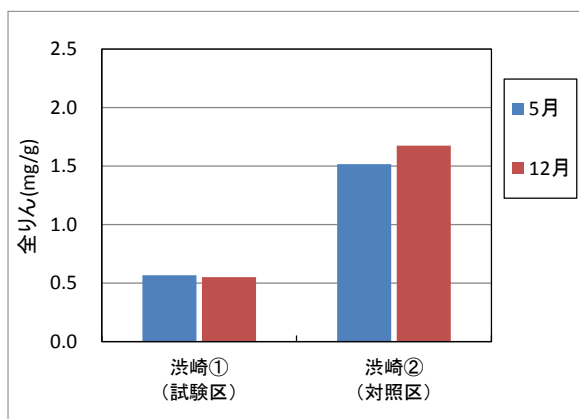


図7 全りんのR2年度測定結果【渋崎区】

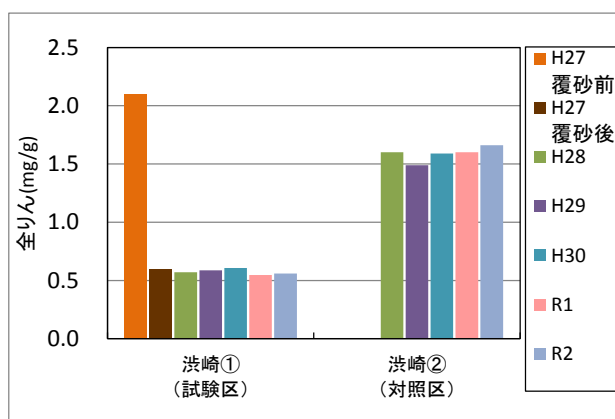


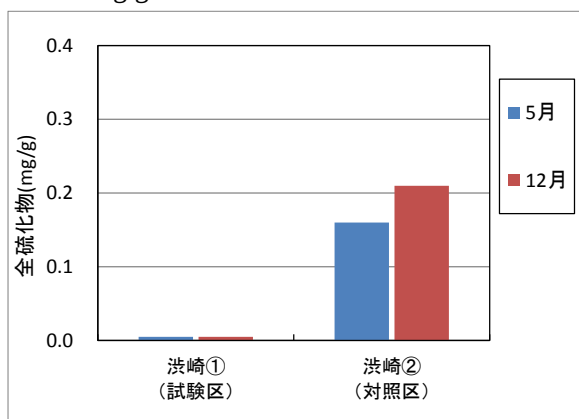
図8 全りんの経年変化【渋崎区】

<全硫化物>

測定結果を図9に、経年変化を図10に示す。測定は検知管法により、採取した試料(湿泥)の水
分率から乾泥換算した。

令和2年度の測定結果について、覆砂した試験区①の濃度は0.01 mg/g未満であり、対照区②の
濃度(0.16~0.21 mg/g)と顕著な差が見られた。また、季節変動について、過去の調査では対照
区②で春期より秋期の方が濃度が高くなる傾向が見られており、R2年度も12月の方が濃度が高
くなっていた(+0.05 mg/g)。

経年変化について、試験区①の濃度は、平成27年度の覆砂後に0.01 mg/g未満であり、R2年度
も0.01mg/g未満を維持していた。なお、対照区②の値は0.10~0.30 mg/gの範囲で推移している。



※グラフの表示の都合上、0.005未満の値は0.005として表示した(以下、全硫化物のグラフについて同様)

図9 全硫化物のR2年度測定結果【渋崎区】

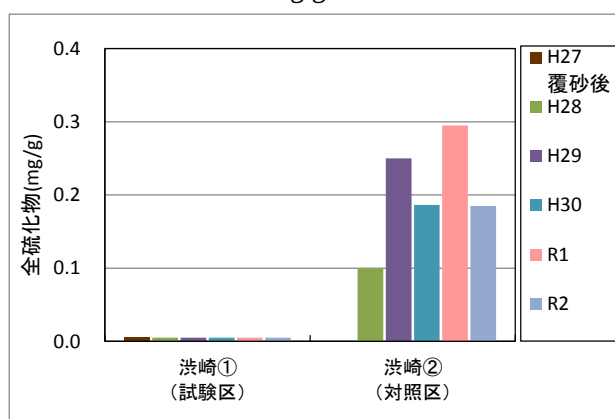


図10 全硫化物の経年変化【渋崎区】

<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(概ね1%未満)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図11に示す。過去の調査では、覆砂施工前(平
成27年4月)の試験区①のシルト・粘土分の割合(泥分率)は71%であったが覆砂後に5%未満にな
り、H28~H30年度は3%未満、R1年度は1%程度、R2年度は1%未満と低い値を維持していた。

一方、対照区②の R2 年度の泥分率は 40～50%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①が 1%程度、対照区②が 0.5%程度であった。

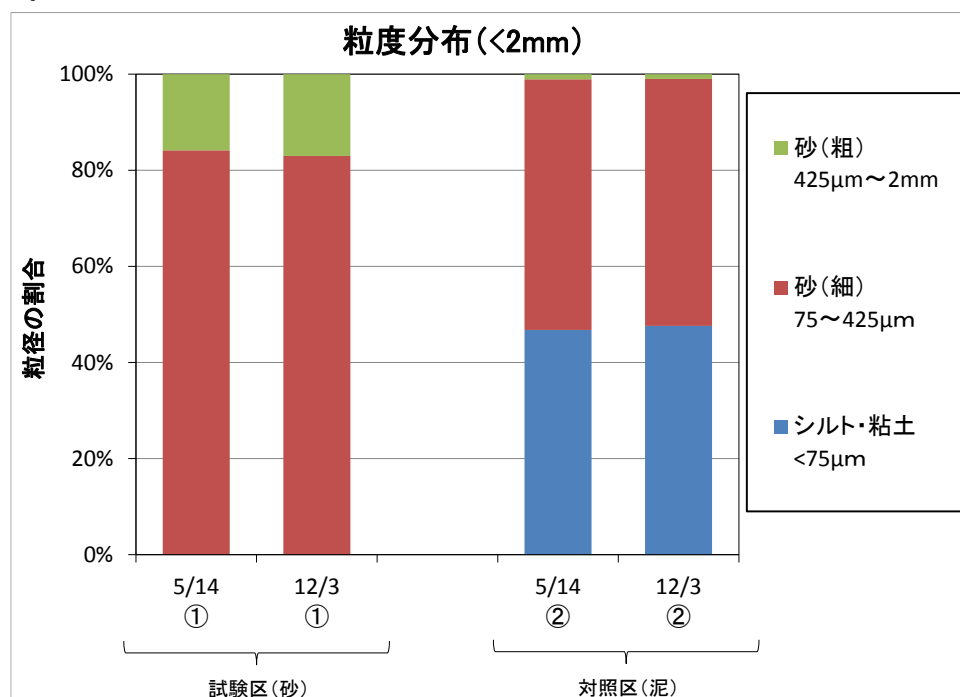


図 11 底質の粒度分布組成【浜崎区】

3. 2. 3. 2. 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 4 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 12 に、経年変化を図 13 に示す。

令和 2 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 2.0%であり、対照区の地点⑥の値(10.5～11.6%)と比べて平均 9 ポイント低かった(対⑥比 18%)。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 (+1 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(平成 28 年 8 月)は 12%であったが覆砂後は 2%程度に改善し、R2 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。

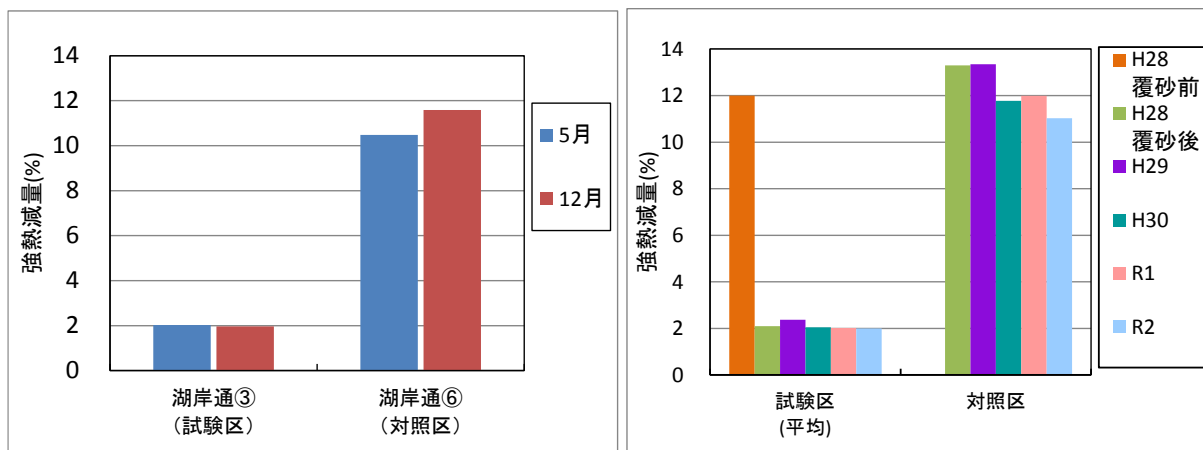


図 12 強熱減量の R2 年度測定結果【湖岸通り区】

図 13 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 年度の数値は 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 14 に、経年変化を図 15 に示す。

令和 2 年度の測定結果について、覆砂した試験区③の全窒素濃度は 0.23 mg/g であり、対照区⑥の濃度(2.46～2.84 mg/g)と比べて平均 2.4 mg/g 低かった(対②比 9%)。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(+0.38 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 年度はそれぞれ 0.13～0.29 mg/g、0.22～0.34 mg/g、0.16～0.23 mg/g であり、R2 年度は 0.23 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。

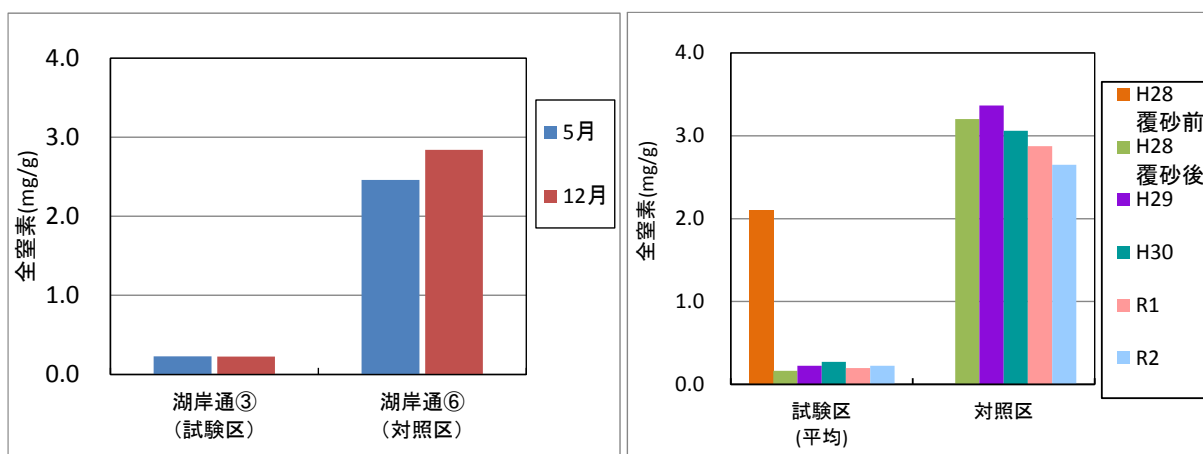


図 14 全窒素の R2 年度測定結果【湖岸通り区】

図 15 全窒素の経年変化【湖岸通り区】

<全りん>

測定結果を図 16 に、経年変化を図 17 に示す。

令和 2 年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点③の全りん濃度は 0.45～0.49 mg/g であ

り、対照区⑥の濃度(1.21～1.34 mg/g)と比べて平均 0.8 mg/g 低かった (対②比 37%)。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 (+0.14 mg/g)。

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 年度はそれぞれ 0.53～0.63 mg/g、0.58～0.63 mg/g、0.54～0.59 mg/g であり、R2 年度は 0.47 mg/g と低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は 1.3～1.7 mg/g の範囲で推移しており、やや減少傾向が見られる。

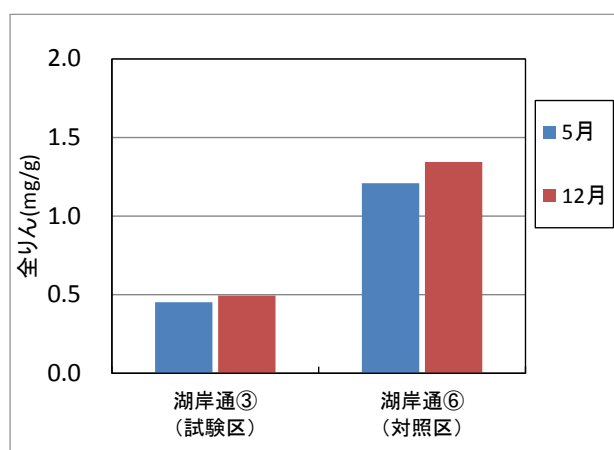


図 16 全りんの R2 年度測定結果【湖岸通り区】

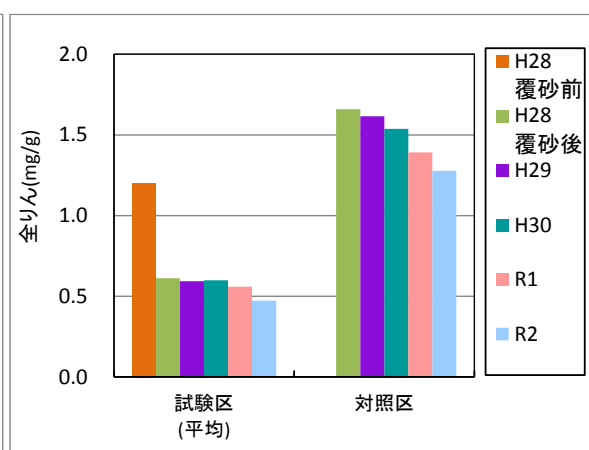


図 17 全りんの経年変化【湖岸通り区】

<全硫化物>

測定結果を図 18 に、経年変化を図 19 に示す。

令和 2 年度の測定結果について、覆砂した試験区③の濃度は、5 月に 0.01mg/g 未満、12 月に 0.019 mg/g であり、対照区⑥の濃度 (0.18～0.21 mg/g) と顕著な差が見られた。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 (+0.03 mg/g)。

経年変化について、試験区の濃度は、平成 28 年度の覆砂前は 0.37 mg/g であったが覆砂後に 0.01mg/g 未満に低下し、R2 年度も 0.01mg/g 未満を維持していた。なお、対照区の値は 0.20～0.30 mg/g の範囲で推移している。

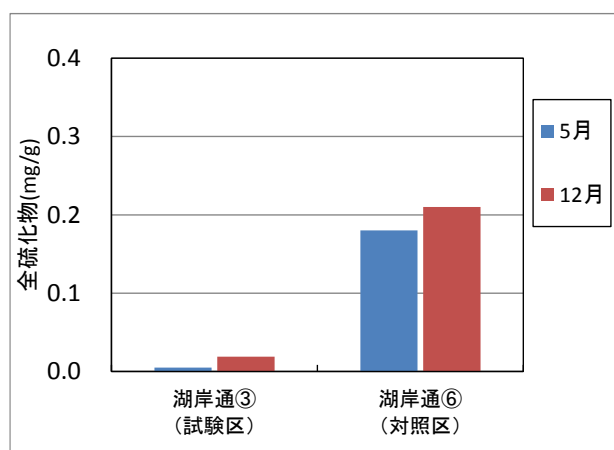


図 18 全硫化物の R2 年度測定結果【湖岸通り区】

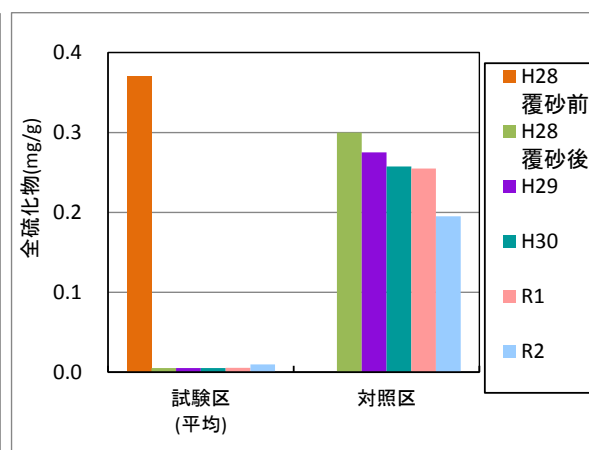


図 19 全硫化物の経年変化【湖岸通り区】

＜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20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年度はそれぞれ8%未満、5%未満、3%未満、R2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67%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。

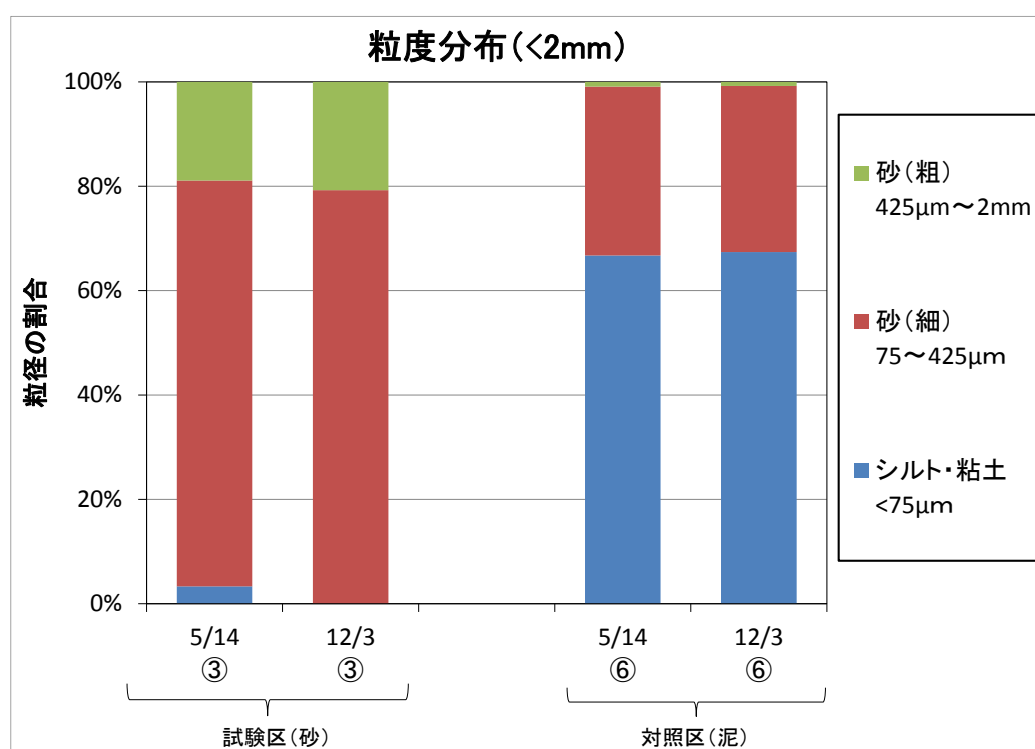


図20 底質の粒度分布組成【湖岸通り区】

3.2.3.3. 底泥酸素消費速度

底泥酸素消費速度（SOD）試験は、湖岸通り区の地点③及び⑥で実施した。

測定結果を表 3、図 21 に示す。DO 経時変化図（図 22）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③の SOD は平均 0.78 g/m²/d、対照区⑥は平均 0.77 g/m²/d であり、調査地点間の差は見られなかった。一方で、前項のとおり両地点の底質性状は顕著に異なり、試験区③が砂質で有機物量が少なく（強熱減量（IL）1.9%）、対照区⑥が砂泥質で IL 10%であり、また試験区では全サンプルの底泥コア表面が付着藻類に覆われていた。このことから、両地点の SOD は同程度であったが、底質性状の違いや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影響していると考えられる。

秋期(10 月)の調査について、覆砂した試験区③の SOD は平均 1.0 g/m²/d、対照区⑥は平均 1.1 g/m²/d であった。SOD の平均値に明確な差は見られなかったが、調査地点ごとのサンプル間のバラつき(n=5)を見ると、変動係数(CV %)は試験区 35%、対照区 14%であり、試験区においてバラつきが大きかった。これは、試験区の 5 本の底泥コアサンプルのうち、底泥表面の一部が付着藻類に覆われていた 2 サンプルで SOD 値が大きく、付着藻類の有無による影響がバラつきの要因と推察される。なお、付着藻類が見られた 2 サンプルを除外して評価すれば、試験区③・秋期の平均値(n=3)は 0.81 g/m²/d で、対照区(1.1 g/m²/d)より小さい値となった（試験区③IL 2.3%、対照区⑥IL 12%）。

2 期の調査から季節変動については、両地点において秋期の方が SOD が大きい値であった。試験区③では付着藻類による影響が大きいと思料され、対照区⑥では秋期の方が IL が 2%高かった。

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 5 本で測定値の変動係数を確認した。測定結果から、試験区③・秋期を除き変動係数は 8.9～14%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 35%であった試験区③・秋期については、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測定値の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）【湖岸通り区】

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)	強熱*2 減量(%)
試験区③・夏期	5	0.68	0.92	0.78	12	7/29	23.2	1.9
対照区⑥・夏期	5	0.68	0.86	0.77	8.9	7/15	17.0	10
試験区③・秋期	5	0.66	1.5	1.0	35	10/14	17.2	2.3
対照区⑥・秋期	5	0.89	1.2	1.1	14	10/27	13.4	12

*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 0-1 cm の測定値

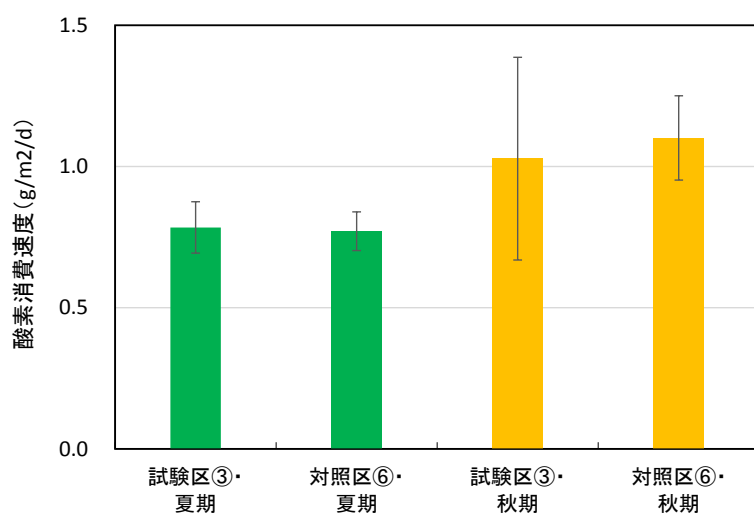


図 21 底泥酸素消費速度 測定結果【湖岸通り区】

※エラーバーは標準偏差を示す

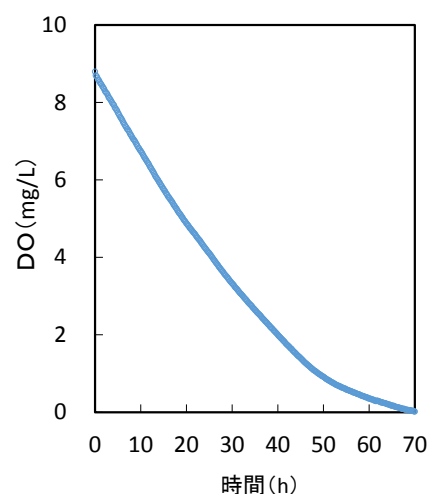


図 22 DO 経時変化

(対照区⑥・秋期、No5)

3.2.4 考察・まとめ

浜崎区では、平成 27 年度に覆砂を実施した試験区①において、対照区②と比較して強熱減量、全窒素、全りん、全硫化物及び粒度分布(泥分率)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。

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と比較して強熱減量、全窒素、全りん、全硫化物及び粒度分布(泥分率)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 4 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。

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 7%)、全りんが 6 割減(対対照区比 36%)であった。(それぞれ浜崎区及び湖岸通り区の平均)

底泥酸素消費速度について、湖岸通り区で初めて調査を実施した結果、夏期・秋期ともに試験区と対照区における調査地点間の差は見られず、底質性状の違いや付着藻類による酸素消費の影響が示唆された。今後、付着藻類による影響を考慮した SOD の評価方法を検討する必要があると考えられる。

底質調査については、今後も引き続き調査を継続して行い、その改善効果の推移を確認していくことが必要である。

3.3 シジミ調査

水産試験場諏訪支場

3.3.1 調査目的

諏訪湖の湖底覆砂処理によって、淡水性のシジミ（以下、淡水シジミ）の生残、成長および生息状況に与える効果について調査する。

3.3.2 調査方法

3.3.2.1 淡水シジミ生育調査

調査年月日

令和2年6月9日、7月29日、9月27日、11月26日

調査地点

調査地点を図1に、その概況を表1に示す。

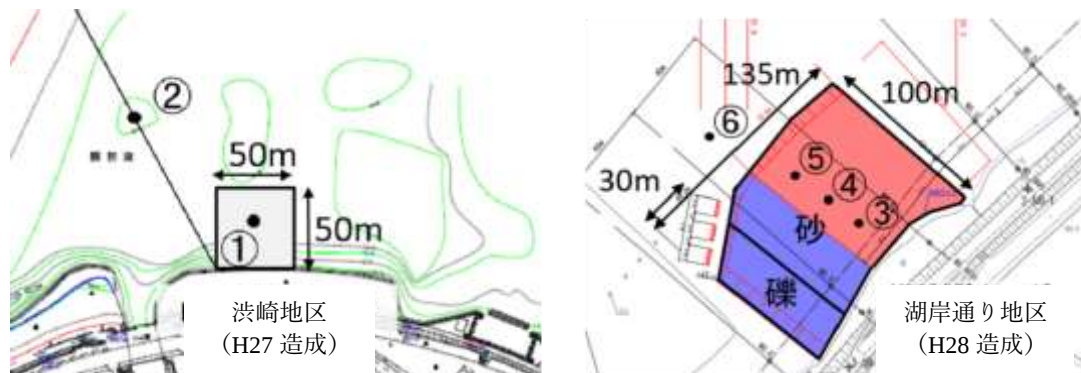


図1 渋崎地区（左図）および湖岸通り地区（右図）の調査地点

表1 シジミ放流調査地点の概況

地区	NO.	区分	底質	水深	位置	備考
渋崎地区	①	覆砂区	砂	1.1m	岸から 25m	H27 年度覆砂造成
	②	対照区	泥	2.4m	岸から 100m	
湖岸通り地区	③	覆砂区	砂	0.7m	岸から 25m	H28 年度覆砂造成
	⑥	対照区	泥	1.7m	岸から 130m	

調査方法

1 地点につき諏訪湖産の淡水シジミ（殻長 12.1 ± 1.56 mm）30 個体を用意し、縦 55cm×横 37cm×高さ 20cm のプラスチック製コンテナに園芸用苗ポッドを 30 個設置し、放流地点の試験区の砂または対照区の泥を厚さ約 5cm になるように入れ、供試貝を 1 個体ずつ収容し、鉄製アングルの枠に固定した後、コンテナ上部に網目 1 cm の金網で覆った。こ

れらコンテナを6月9日に調査場所4地点に設置した。7月29日、9月27日および11月26日にコンテナごと回収し、淡水シジミの生残率、殻長を測定した。計測後は同じ地点に再設置した。2か月ごとの4地点における生残率および殻長を算出し、11月の生残率および殻長はそれぞれ χ^2 独立性の検定およびStudentのt検定で比較した。

3.3.2.2 淡水シジミ生息調査

調査年月日

令和2年5月11日、8月26日、11月12日

調査地点

覆砂区は渋崎地区および湖岸通り地区の覆砂場所内で無作為に選んだ3カ所

対照区は渋崎地区および湖岸通り地区の対照区付近で無作為に選んだ1カ所

調査方法

覆砂区では縦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。

対照区では水深が深く同様の調査が困難なため船上から目合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+個体と区分した。なお、本年の産卵期前となる5月に採捕された0+個体は令和元年産まれにあたる。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 調査結果

3.3.3.1 淡水シジミ生育調査

生残率

2か月ごとの生残率の推移を図2に示す。11月の渋崎地区の覆砂区および対照区の生残率がそれぞれ50および37%と有意な差はなかった(χ^2 独立性の検定、有意水準5%、表2)が、覆砂区が対照区より高い傾向にあった。11月の湖岸通り地区の覆砂区および対照区の生残率がそれぞれ43および33%と有意な差はなかった(χ^2 独立性の検定、有意水準5%)が、覆砂区が対照区より高い傾向にあった。

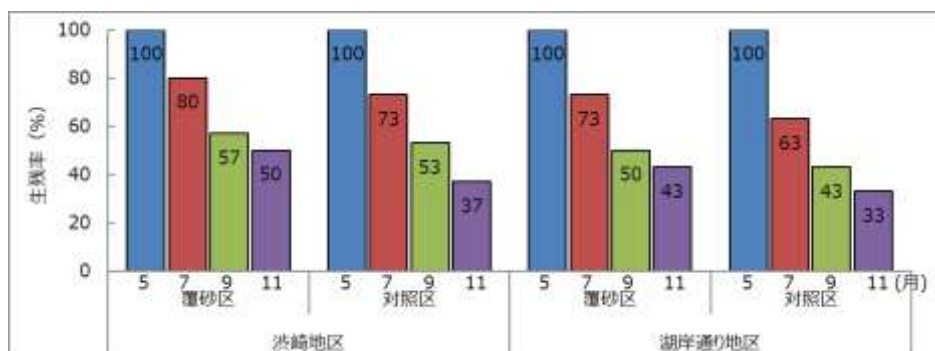


図2 浜崎地区および湖岸通り地区における覆砂区および対照区で飼育した淡水シジミの生残率の推移

表2 淡水シジミ生育調査（11月）の淡水シジミの生残率と供試貝と異なる稚貝確認数

項目	浜崎地区		湖岸通り地区	
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区
生残数/供試数	15/30	11/30	12/30	10/30
生残率 (%)	50	37	43	33
稚貝確認数	25 (約4～14mm)	0	18 (約4～12mm)	0

殻長

2か月ごとの殻長の推移を図3に示す。11月の浜崎地区の覆砂区および対照区の殻長（平均値±標準偏差）はそれぞれ 18.3 ± 3.1 および 19.4 ± 1.7 mm と有意な差はなかった（Studentのt検定、有意水準5%）が、対照区が覆砂区より大きい傾向にあった。11月の湖岸通り地区の覆砂区および対照区の殻長はそれぞれ 20.1 ± 5.0 および 21.6 ± 1.6 mm と有意な差はなかった（Studentのt検定、有意水準5%）が、対照区が覆砂区より大きい傾向にあった。

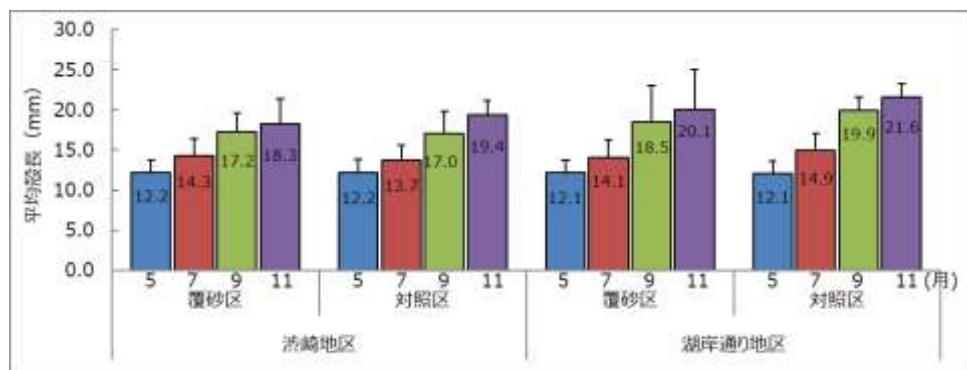


図3 浜崎地区および湖岸通り地区における覆砂区および対照区で飼育した淡水シジミの殻長の推移（Iは標準偏差）

その他

11 月の計測の際、浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区に設置していたコンテナ内より供試貝とは別の淡水シジミ稚貝をそれぞれ 25 および 18 個体確認した。一方、対照区では供試貝以外の稚貝は確認されなかった。覆砂区および対照区の供試貝が産卵したかは不明であるが、覆砂場所では淡水シジミの稚貝が生残できることが明らかになった。

3.3.3.2 淡水シジミ生息調査

年齢組成

浜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 4 および図 5 に示す。浜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 2 個体、8 月がそれぞれ 121 および 5 個体、11 月がそれぞれ 21 および 2 個体であった（表 3）。5 月、8 月および 11 月の 0+個体の割合はそれぞれ 75、96 および 91%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 4 および 0 個体、8 月がそれぞれ 14 および 1 個体、11 月がそれぞれ 5 および 2 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、93 および 71%と、採取された淡水シジミのほとんどは 0+個体であった。

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 月の調査において浜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 2～4 mm 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。11 月の調査においても同様に両地区の覆砂区では淡水シジミは採捕されたが、対照区では採捕されなかった。特に浜崎地区では殻長頻度のピークが 8 月の調査より大きい区分に移っており、淡水シジミは覆砂区で生息し成長できることが考えられた。

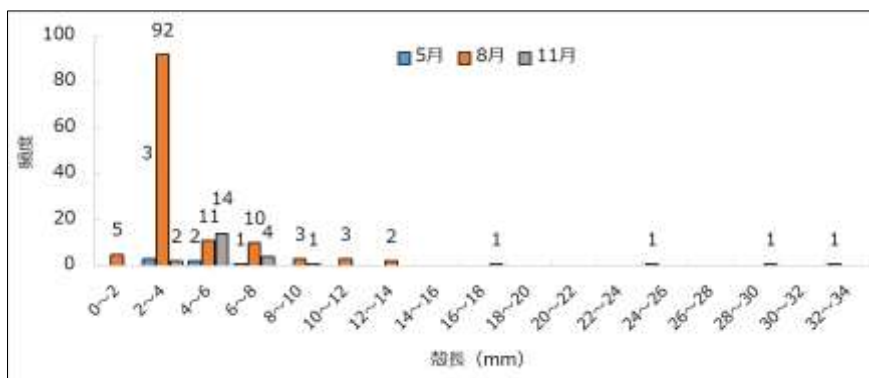


図 4 浜崎地区の覆砂区における 5、8、11 月の淡水シジミの殻長頻度分布

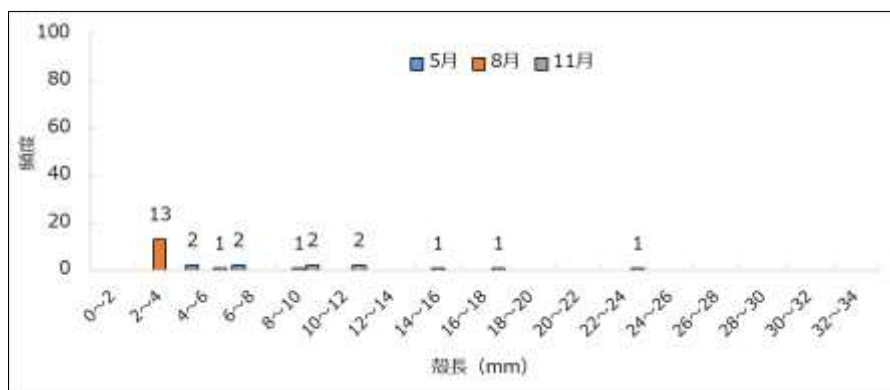


図5 湖岸通り地区の覆砂区における5、8、11月の淡水シジミの殻長頻度分布

表3 浜崎地区および湖岸通り地区における淡水シジミの年齢組成

年齢	浜崎地区覆砂区の個体数			湖岸通り地区覆砂区の個体数		
	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)
0+	6 (75)	121 (96)	21 (91)	4 (100)	14 (93)	5 (71)
1+~	2 (25)	5 (4)	2 (9)	0 (0)	1 (7)	2 (29)

生息密度

浜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 0.7 ± 0.6 個体/m²、8月がそれぞれ 40.3 ± 23.4 および 1.7 ± 1.2 個体/m²、11月がそれぞれ 7.0 ± 1.0 および 0.7 ± 0.6 個体/m² であった（図6）。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。

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 1.3 ± 1.5 および 0 個体/m²、8月がそれぞれ 4.7 ± 8.1 および 0.3 ± 0.6 個体/m²、11月がそれぞれ 1.7 ± 1.5 および 0.7 ± 1.2 個体/m² であった（図7）。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、浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区において8月に0+個体の新規加入により生息密度がピークとなったが、11月には0+個体の減少により生息密度が減少した。この傾向は北野ら（2017）による琵琶湖につながる農業水路における淡水シジミの生息密度調査の結果と一致した。諏訪湖の淡水シジミの個体数は季節によって大きく変化し、その生息密度の増減には繁殖による稚貝個体数の増減が大きく影響していると考えられた。

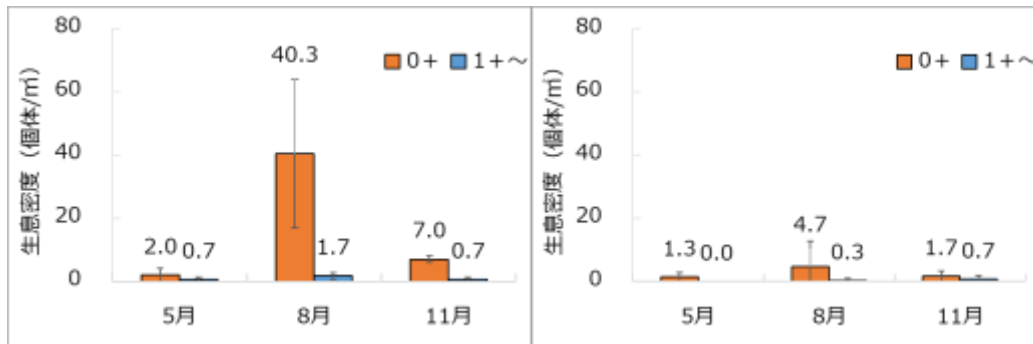


図6 渋崎地区の覆砂区における
淡水シジミの生息密度 (I は標準偏差)

図7 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3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8および図9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、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、0+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。

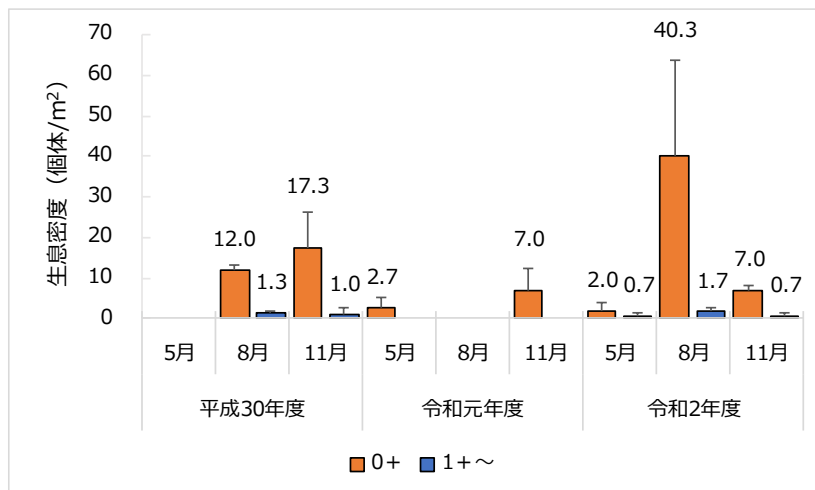


図8 渋崎地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移 (I は標準偏差)

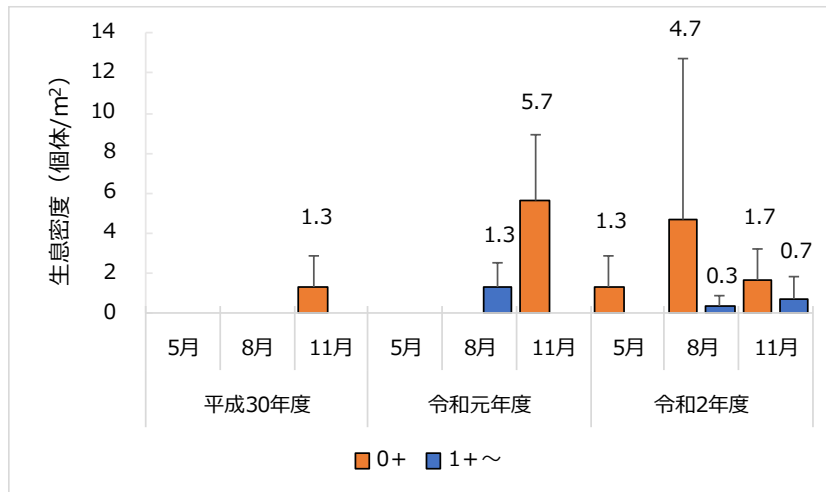


図9 湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移（I は標準偏差）

3.3.5 まとめ

3.3.5.1 淡水シジミ生育試験

- 淡水シジミの生残率については、浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区と対照区に有意差はなかったが、覆砂区が対照区より高い傾向にあった（令和元年度と同結果）。
- 淡水シジミの殻長の成長については、覆砂区と対照区に有意差はなかったが、対照区が覆砂区より大きい傾向にあった。
- 浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区の苗ポット内に多数の稚貝が確認され対照区では確認されなかったことから、覆砂場所では淡水シジミの稚貝が生残できることが明らかになった（令和元年度と同結果）。

3.3.5.2 淡水シジミ生息調査

- 対照区では淡水シジミは採取されなかった。
- 覆砂区における淡水シジミの生息密度については、0+個体を中心に増減している。
- 浜崎地区および湖岸通り地区の淡水シジミの生息密度は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

- 藤原次男（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
- 粕谷・陣野（2014）：水田用水路におけるマシジミ増殖の可能性について．環境保健研究センター所報 60, p. 50-60
- 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 5 年後および平成 28 年度に造成した湖岸通り地区の覆砂区の 4 年後の底生生物の生息状況を把握した。

3.4.2 調査方法

調査は 3 回行い、令和元年 6 月 15 日、8 月 17 日、10 月 19 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 19 日、10 月 21 日に回収した。調査地点は淡水シジミ生育調査と同様に渋崎地区の覆砂区①および対照区②、湖岸通り地区の覆砂区③および対照区⑥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、冷蔵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

3.4.3 調査結果

採捕種数は渋崎地区の覆砂区および対照区は両区とも 6 種で同数であった（表 2）。湖岸通り地区の覆砂区および対照区はそれぞれ 5 および 7 種と対照区の方が覆砂区より多かった。

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 38 および 39 個体と、両区は同程度であった。湖岸通り地区の覆砂区および対照区はそれぞれ 16 および 28 個体と、対照区の方が覆砂区より多かった。

採捕された魚類はウキゴリ、ヌマチチブ、モツゴ、コイおよびオオクチバスであった。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 3 種、採捕個体数はそれぞれ 6 および 20 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 5 種、採捕個体数はそれぞれ 4 および 11 個体であった。渋崎地区および湖岸通り地区ともに、魚類の採捕種数および採捕個体数は対照区の方が覆砂区より多かった。

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それぞれ 23 および 3 個体、スジエビの採捕個体数はそれぞれ 5 および 12 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 10 および 2 個体、スジエビの採捕個体数はそれぞれ 0 および 15 個体であった。渋崎地区および湖岸通り地区ともに、テナガエビは対照区より覆砂区で多く採捕された一方、スジエビは覆砂区より対照区で多く採捕された。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と一致した。

採捕された貝類はタニシ科およびカワニナ科であった。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 3 および 4 個体、カワニナ科の採捕個体数はそれぞれ 1 および 0 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 2 および 0 個体、カワニナ科はともに 0 個体であった。

表 2 渋崎および湖岸通り地区における 5、8、11 月に採捕された種および個体数

調査地点			魚類					甲殻類		貝類		合計
			ウキゴリ	ヌマチチブ	モツゴ	コイ	オオクチバス	テナガエビ	スジエビ	タニシ科	カワニナ科	
渋崎	①	覆砂区	1	5				23	5	3	1	38
	②	対照区	6	13	1			3	12	4		39
湖岸通り	③	覆砂区	1	2	1			10		2		16
	⑥	対照区	1	7	1	1	1	2	15			28
合計			9	27	3	1	1	38	32	9	1	121

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 3 に示した。4 年間で採捕された種は、魚類が 10 種、甲殻類が 3 種、貝類が 3 種であった。

魚類については 4 年間毎年採捕された種は、モツゴ、ヌマチチブの 2 種で、それ以外は 1、2 年のみ確認された種が大半であった。また、これら 2 種も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い。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。カワニナ科は覆砂区で、モノアラガイは対照区で採捕されたが、両種とも採捕個体数はともに 1 個体であり、覆砂の効果は明らかではない。

一方、甲殻類については本年度の結果で示したように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、令和元年度を除き毎年見られている。覆砂によってテナガエビの生息にとって好適な環境が創出され、覆砂後 4、5 年経過してもその好適な環境が維持されていると考えられる。しかし、覆砂した環境がいつまでテナガエビにとって好適であるかは

明らかではなく、今後も底生生物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3 浜崎地区および湖岸通り地区における4年間で採捕された種および個体数

年度		H29				H30				R1				R2				総個体数
地点		浜崎		湖岸通り		浜崎		湖岸通り		浜崎		湖岸通り		浜崎		湖岸通り		
		①	②	③	⑥	①	②	③	⑥	①	②	③	⑥	①	②	③	⑥	
		覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	
魚類	ウナギ				2													2
	モツゴ			2	1		2		17	5	13	24	17		1	1	1	84
	ビワヒガイ								1									1
	コイ																1	1
	カドジョウ												1					1
	ウキゴリ		1	1	3									1	6	1	1	14
	ヌマチチブ	11	7	10	4	3	5	6	2	7	7		5	5	13	2	7	94
	ヨシノボリ			1		3												4
	オオクチバス																1	1
ブルーギル		12	1									1					14	
甲殻類	テナガエビ	36	9	31	23	34	4	17	12		1	7	1	23	3	10	2	213
	スジエビ		10		2	1	2	1	7	2	1	9	25	5	12		15	92
	アメリカザリガニ			1														1
貝類	タニシ科				2		1		5	1		5		3	4	2		23
	カワナナ科													1				1
	モノアラガイ		1															1
合計		47	40	47	37	41	14	24	44	15	22	45	50	38	39	16	28	547

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

第4章 ヒシ刈り取り場所のモニタリング

諏訪建設事務所

4.1. 調査地点及び調査項目

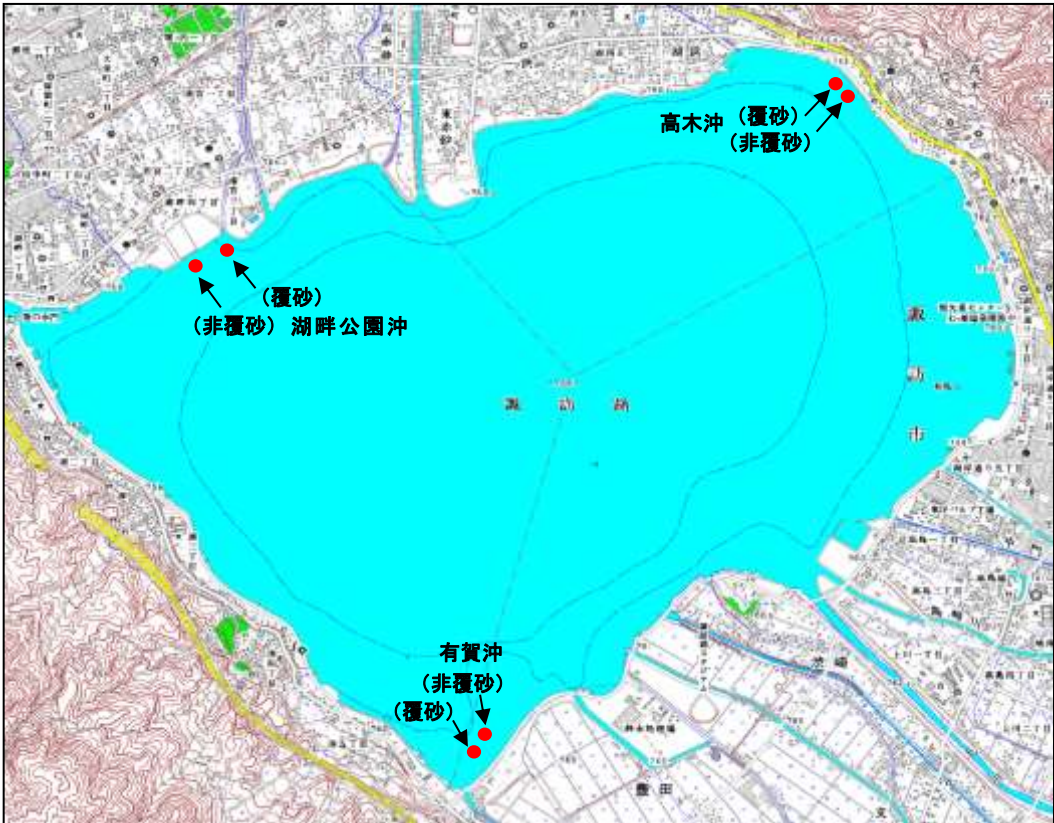


図1 調査地点位置図（背景図は国土地理院数値地図使用）

調査項目

- ①水質環境調査：水質調査（計6地点）、底質調査（高木沖・有賀沖の計4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）

測定分析（水質）1 地点 1 水深当たりの分析項目

水温	1 検体
溶存酸素量 (DO)	1 検体
酸化還元電位 (ORP)	1 検体
電気伝導率 (EC)	1 検体
水素イオン濃度 (pH)	1 検体
浮遊物質 (SS)	1 検体
クロロフィル a	1 検体
化学的酸素要求量 (COD)	1 検体
溶解性 COD (d-COD)	1 検体
全窒素 (T-N)	1 検体
溶存態全窒素 (d-T-N)	1 検体
アンモニア態窒素	1 検体
全リン (T-P)	1 検体
溶存態全リン (d-T-P)	1 検体

測定分析（底質）1 検体の分析項目

全窒素 (含有)	1 検体
全リン (含有)	1 検体
含水率	1 検体
全窒素 (溶出)	1 検体
全リン (溶出)	1 検体

測定分析（水草）1 検体の分析項目

湿潤重量	1 検体
乾燥重量	1 検体
全炭素 (T-C)	1 検体
全リン (T-P)	1 検体
全窒素 (T-N)	1 検体

注）水質分析は湖畔公園沖（非覆砂）を除き1地点3水深（表層・中層・底層）で7.8.9.10月に実施

表1 ヒシの繁茂状況及び覆砂工事・ヒシ刈り等の人為的影響

調査地点		工事・ヒシ刈り等の人為的影響			
		7月(7/30,31)	8月(8/26,27)	9月(9/28,29)	10月(10/20,21)
湖畔公園沖	覆砂			覆砂工事中 (ヒシ刈り後、湖底掘削前)	覆砂工事中 (湖底掘削直後、隣接部は掘削中)
	非覆砂				
高木沖	覆砂				
	非覆砂				
有賀沖	覆砂				
	非覆砂				

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)

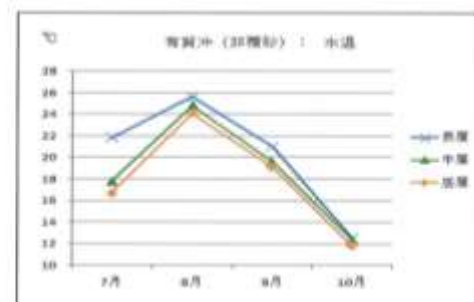
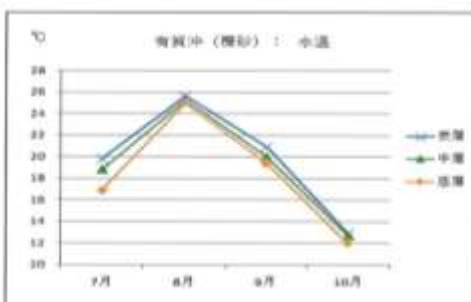
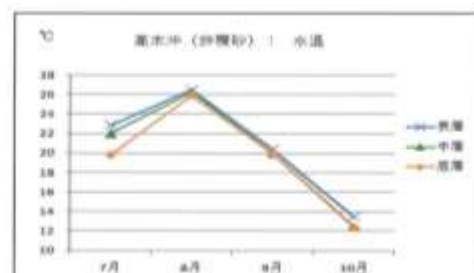
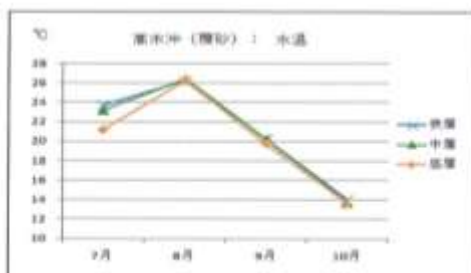
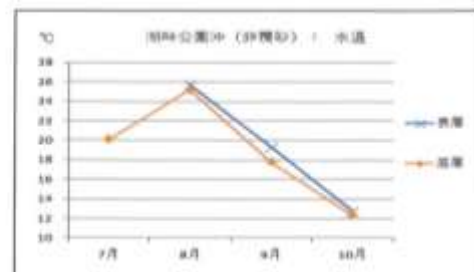
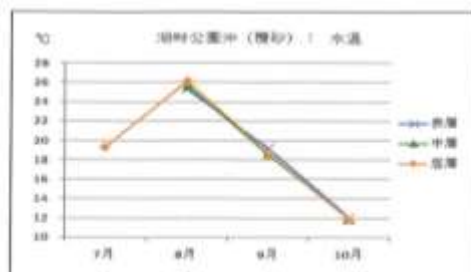
4.2. 水質等調査結果の概要

4.2.1. 今年度の調査結果概要

(1) 水質調査結果

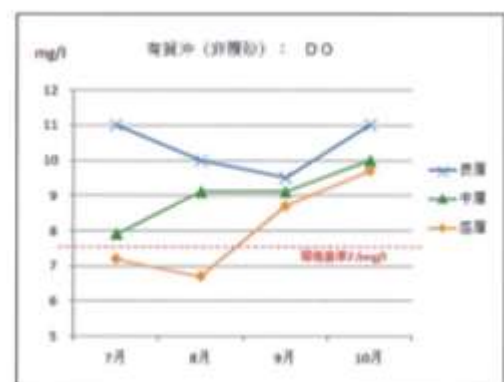
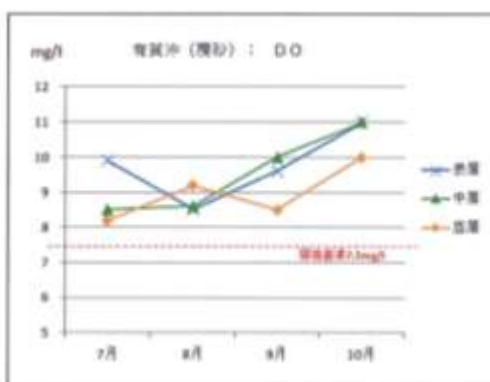
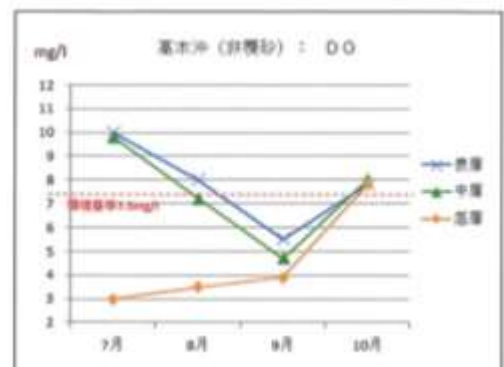
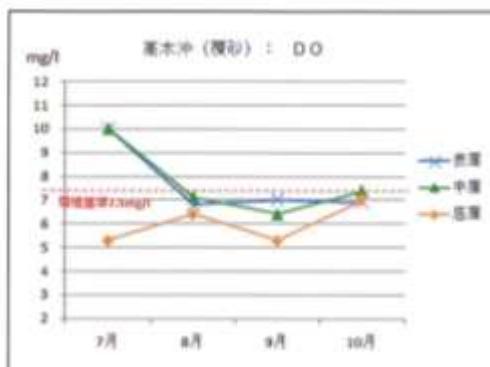
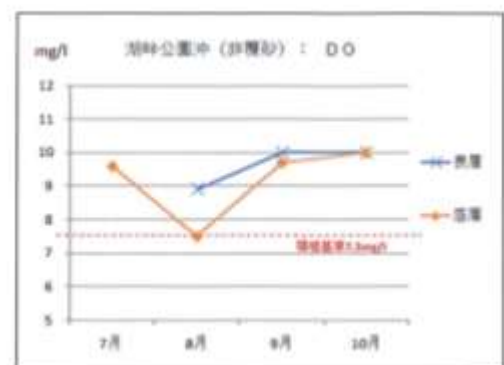
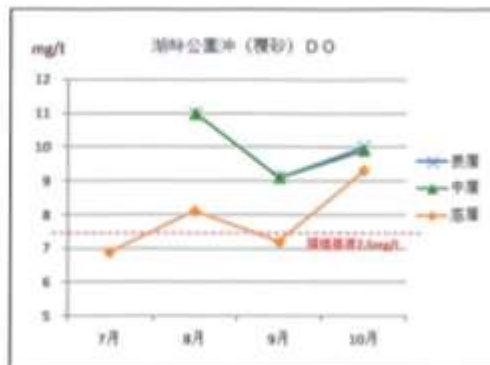
①水温

いずれの調査地点でも8月をピークに水温が高くなり、その後は水温が低下していった。階層別水温については、覆砂工事を行った湖畔公園沖（覆砂）を除き、いずれの調査地点でも底層から表層にかけて水温が高くなるとともに、7月にその水温差が最も大きかった。7月調査の前は雨の日が多く、入流河川の水質の影響を受けた可能性があり、特に新川に近い有賀沖（覆砂・非覆砂）の7月の水温が低かった。また、7月～9月にヒシの繁茂していた非覆砂箇所はヒシがあまり繁茂していなかった覆砂箇所よりも底層から表層にかけての水温差が大きくなる傾向が見られた。



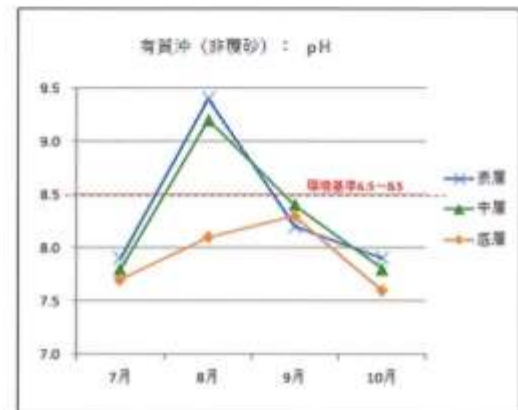
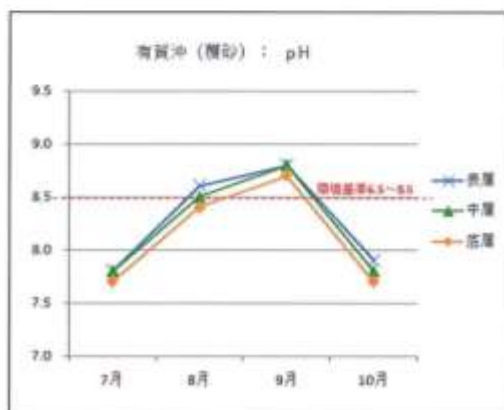
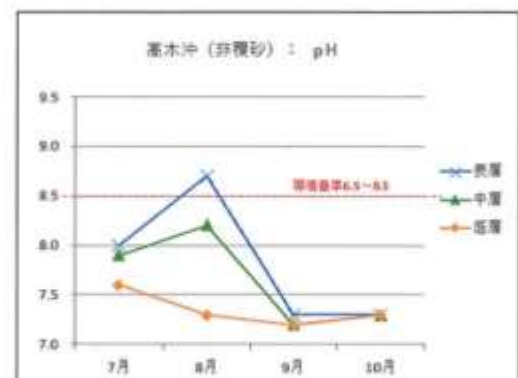
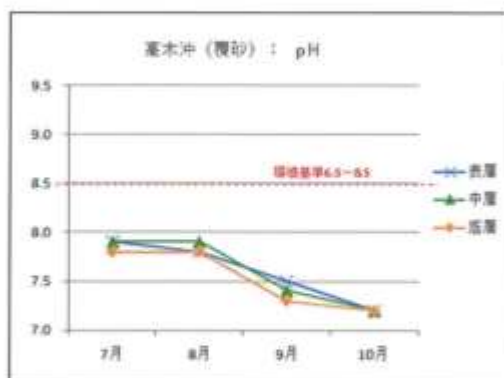
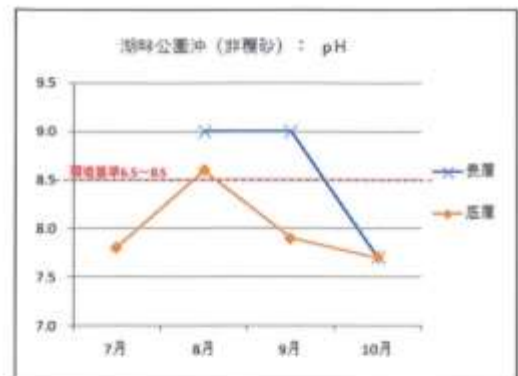
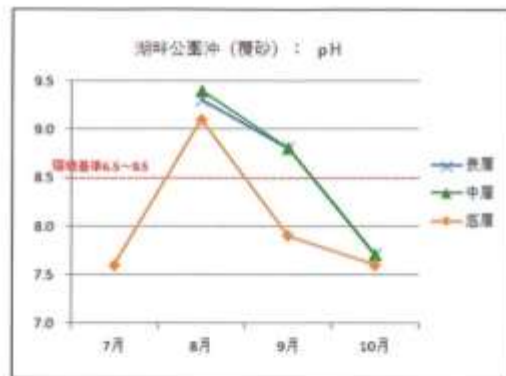
②DO（溶存酸素量）

7月～9月に底層でDOが低い傾向が見られ、特にヒシの繁茂していた高木沖（非覆砂）では低く、ヒシ繁茂の影響によるものと思われた。しかし、いずれの地点も10月には再度DOが高くなり、底層から表層にかけての差もほとんどなくなった。一方で、覆砂工事の行われた有賀沖（覆砂）は底層も含めてすべて環境基準を満たしており、ヒシがあまりなかったことなどが影響しているものと考えられる。また、覆砂の有無やヒシの繁茂状況に関わらず、高木沖はDOが低い傾向が見られた。



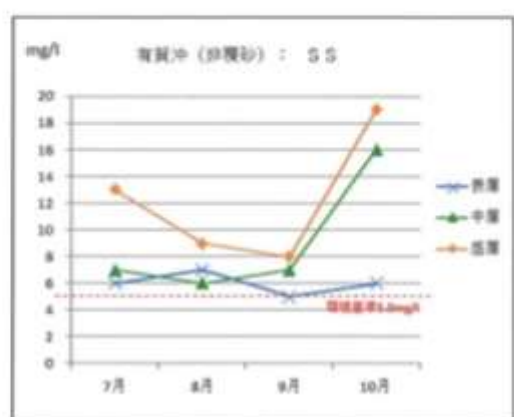
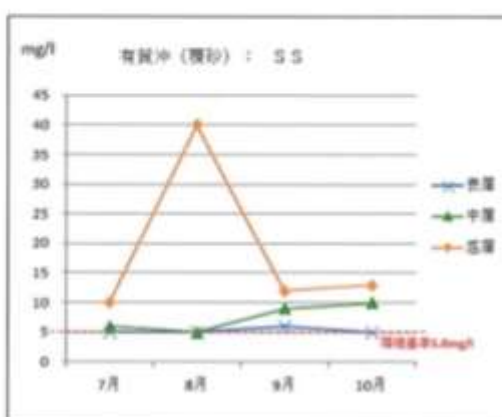
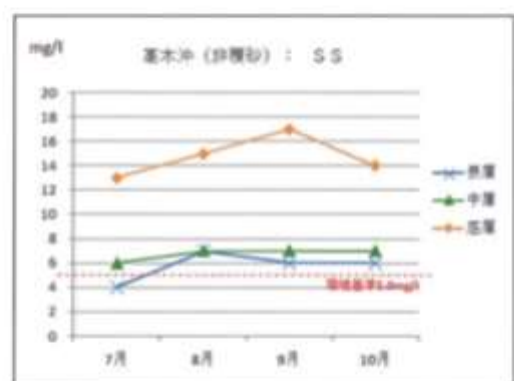
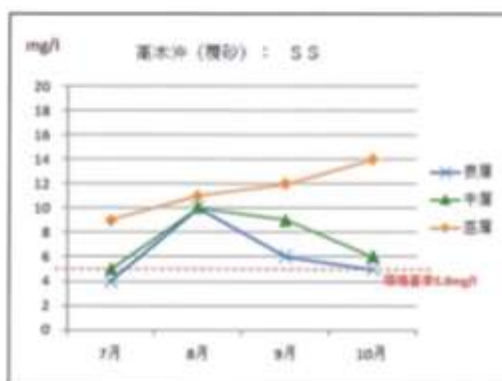
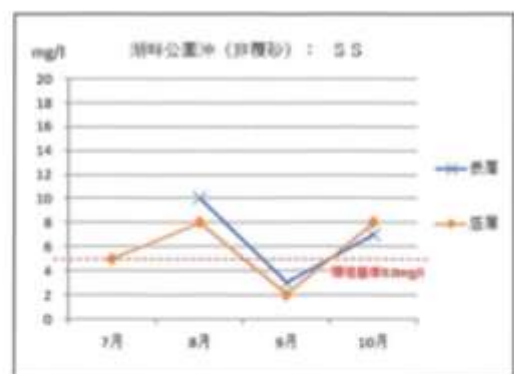
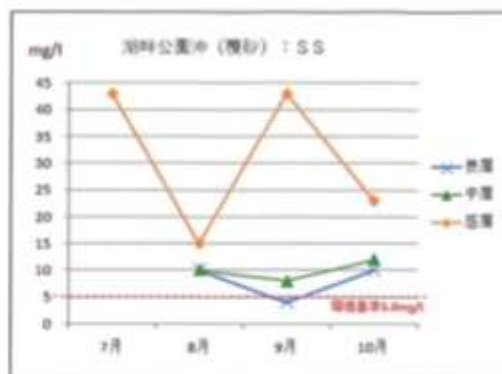
③ pH（水素イオン濃度）

高木沖（覆砂）を除き 8 月に表層・中層の pH が環境基準を超えるまで高くなる傾向が見られた。その要因として植物プランクトン量の増加に伴う水中の二酸化炭素（ CO_2 ）の減少の影響があると考えられる。一方で、高木沖（覆砂）は環境基準を超えるまで高くなることはなく、その変動も少なく推移した。また、表層・中層の pH が高くなる傾向にある 8 月でもヒシの繁茂していた高木沖（非覆砂）と有賀沖（非覆砂）では、底層の pH が高くなることはなかった。



④SS（浮遊物質）

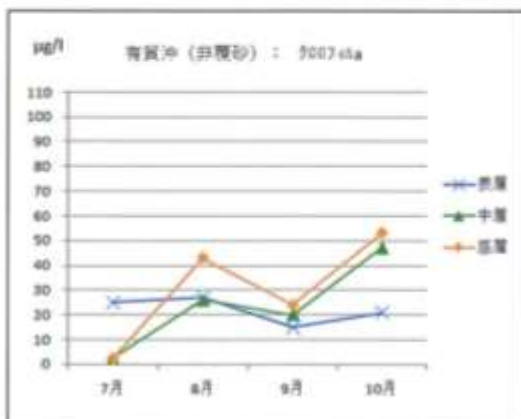
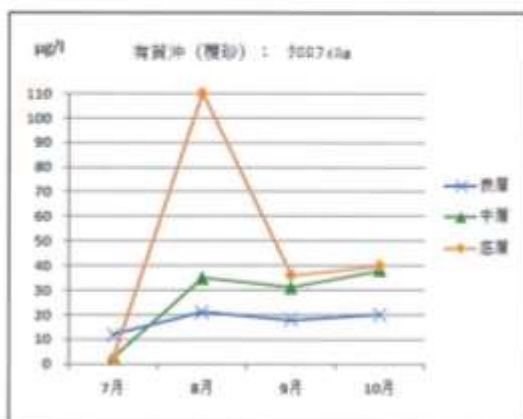
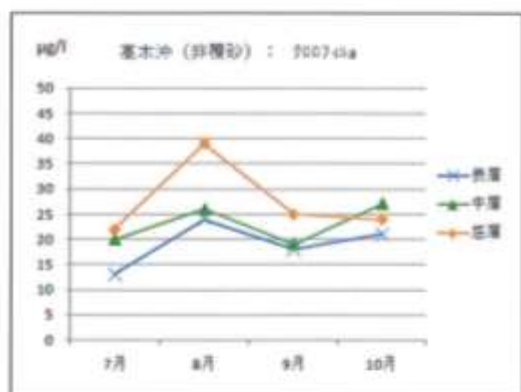
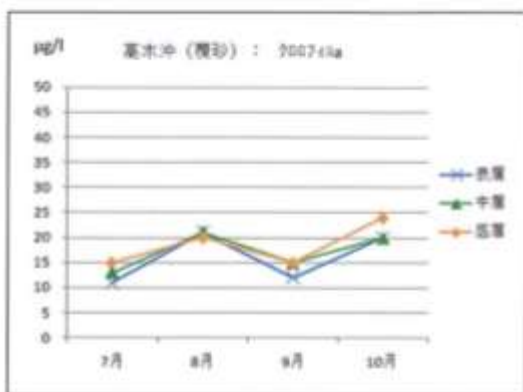
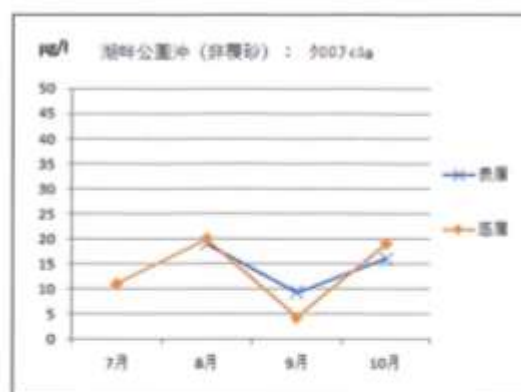
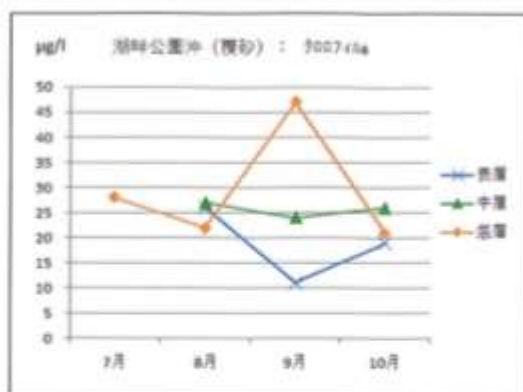
いずれの地点も底層のSSが高い値を示しており、中層と表層はSSが低いとともにその差も小さかった。底層のSSが高い値を示す要因としては、有機質などの沈降や荒波に伴う底質や沈降物の巻き上げなどが考えられ、湖畔公園沖（覆砂）の底層で9月にSSが高いのは直前の覆砂工事に伴うヒシ刈りの影響があったものと思われる。有賀沖（覆砂）の底層で8月にSSが高いのは調査時の荒波の影響が考えられるが、調査時同様の荒波のあった有賀沖（非覆砂）ではヒシが繁茂していたため、荒波の影響がほとんどなかったものと考えられる。



⑤クロロフィル a

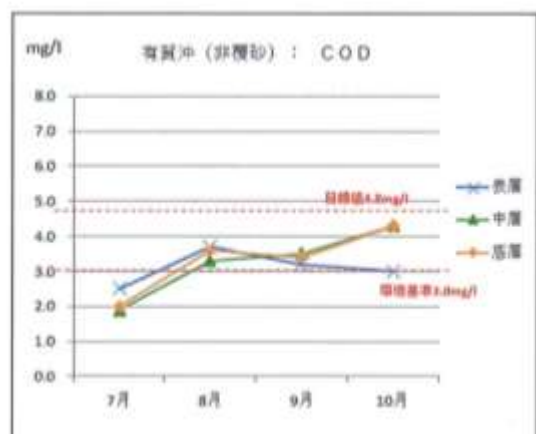
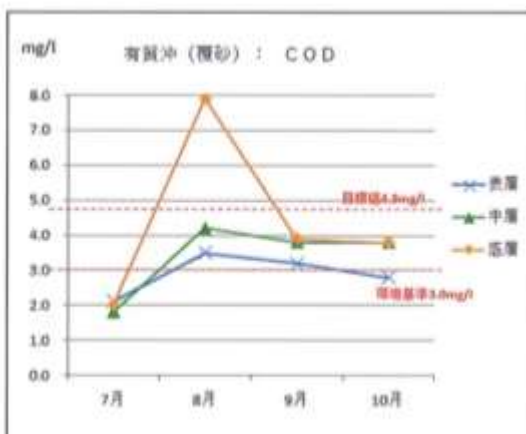
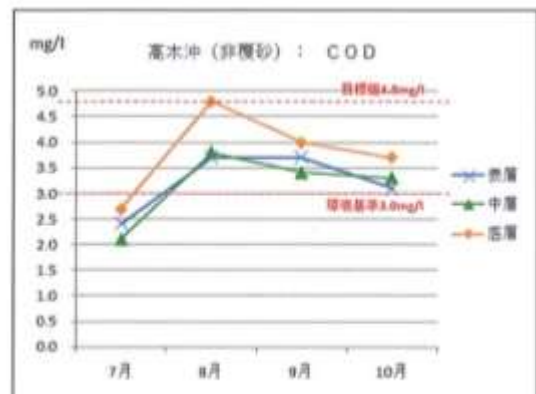
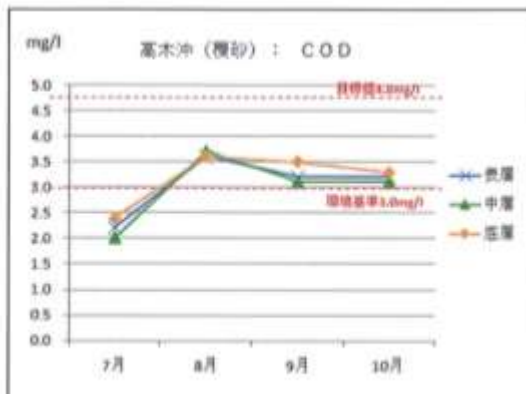
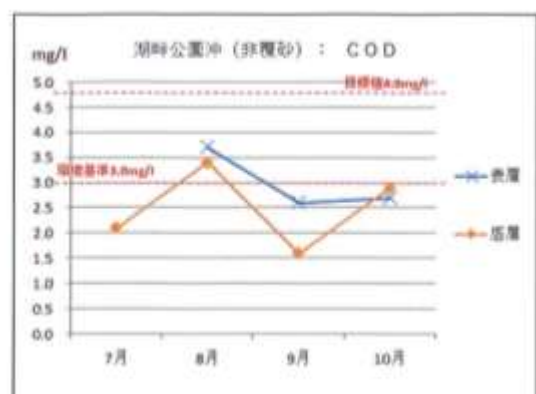
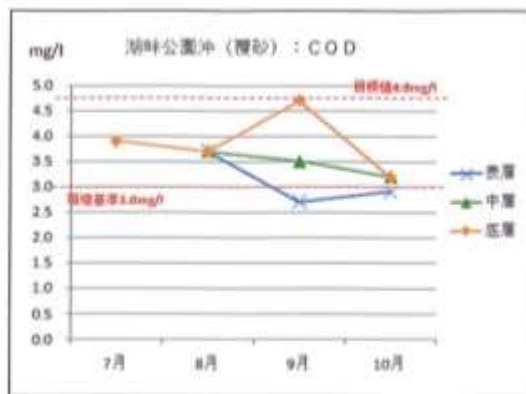
8月と10月にクロロフィルaの高い傾向が見られるが、8月に高いのは調査を行った8月27日頃には植物プランクトン量（細胞数）が多かったためと考えられる。また、ヒシの繁茂していた高木沖（非覆砂）及び有賀沖（非覆砂）の底層のクロロフィルaは、それらの表層・中層より高くなったが、その要因としては離脱・沈降する付着藻類が影響している可能性がある。一方で、10月にクロロフィルaが高いのは、この時期になると植物プランクトン量（細胞数）及び離脱・沈降する付着藻類量も減少してくるため、植物プランクトンの種構成において珪藻が優占する状態から緑藻の割合が増えてきたことが影響している可能性があると考えられる。

湖畔公園沖（覆砂）の底層で9月にクロロフィルaが高いのは、直前の覆砂工事に伴うヒシ刈りの影響があったものと思われる。有賀沖（覆砂）の底層で8月にクロロフィルaが高いのは調査時の荒波の影響が考えられる。湖畔公園沖（非覆砂）の底層で9月にクロロフィルaが低いのは流入河川からの冷水の潜り込みの影響が考えられる。



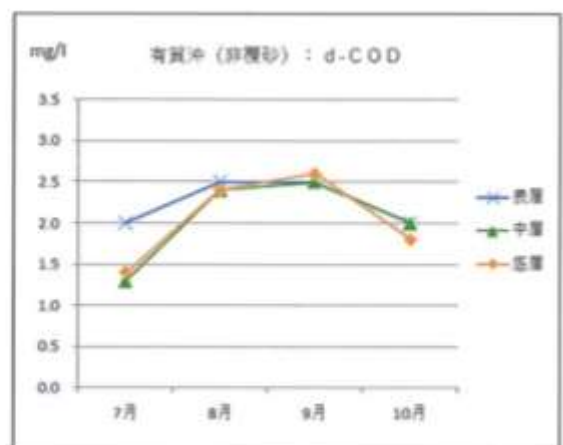
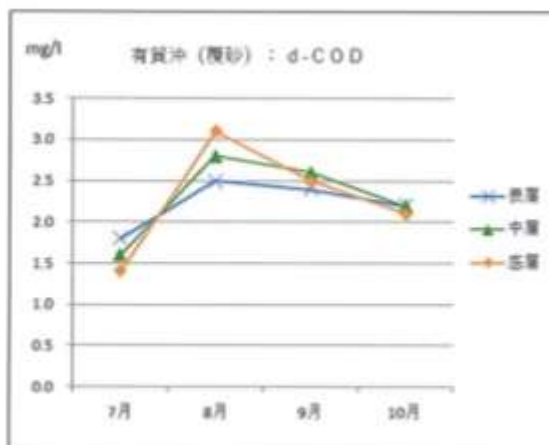
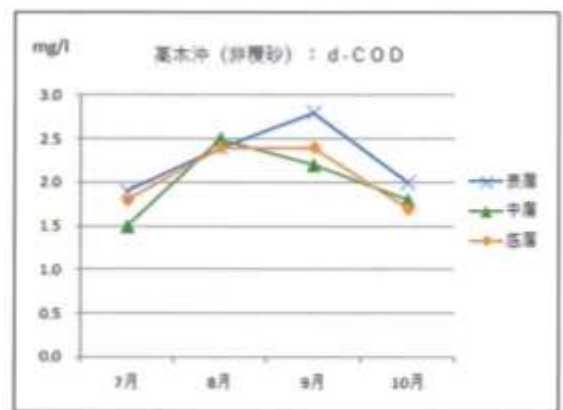
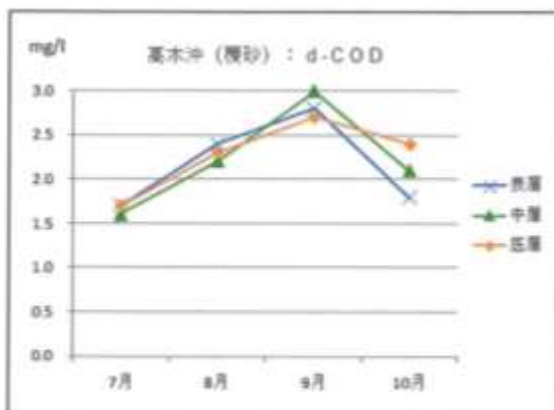
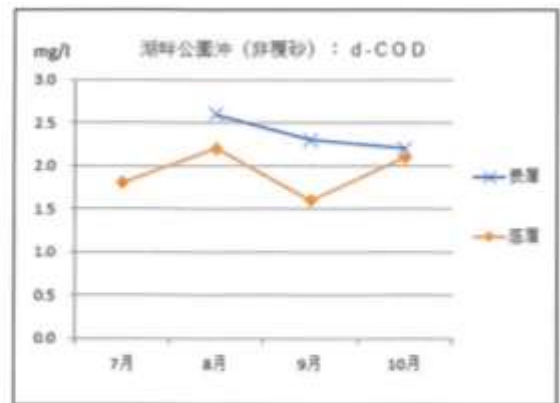
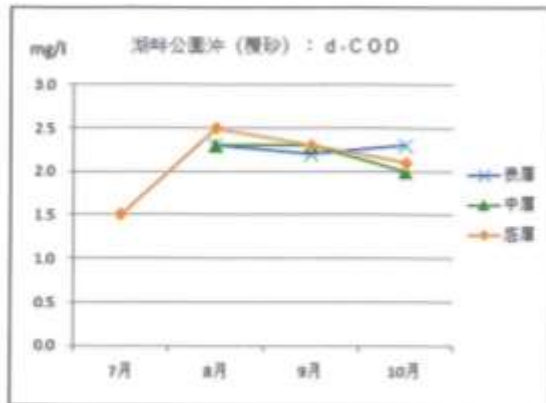
⑥COD（化学的酸素要求量）

8月の有賀沖（覆砂）を除きいずれの地点でも概ね水質目標値を満たす値であったが、環境基準については満たさない地点・時期があり、ヒシの繁茂状況にかかわらず特に8月にCODが高い傾向が見られた。その要因として植物プランクトン量が影響しているものと考えられる。その他の特殊な要因として、クロロフィルaと同様に湖畔公園沖（覆砂）の底層で9月にCODが高いのは直前の覆砂工事に伴うヒシ刈りの影響があったものと思われる。有賀沖（覆砂）の底層で8月にCODが高いのは調査時の荒波の影響が考えられるが、調査時同様の荒波のあった有賀沖（非覆砂）ではヒシが繁茂していたため、荒波の影響がほとんどなかったものと考えられる。湖畔公園沖（非覆砂）の底層で9月にCODが低いのは流入河川からの冷水の潜り込みの影響が考えられる。



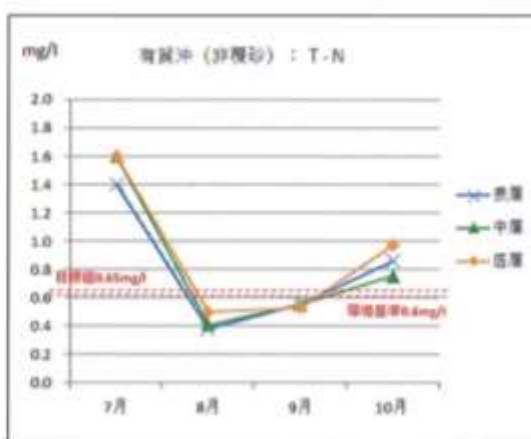
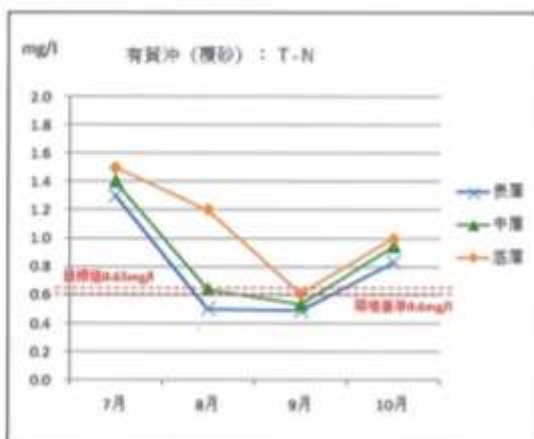
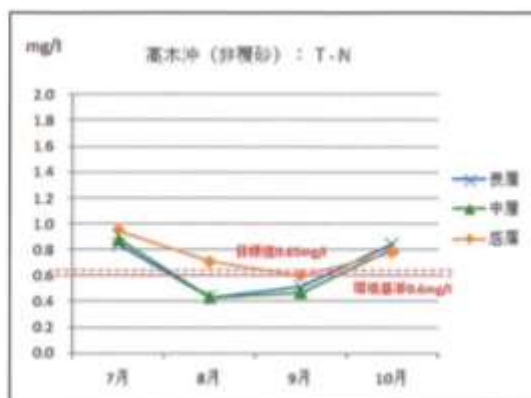
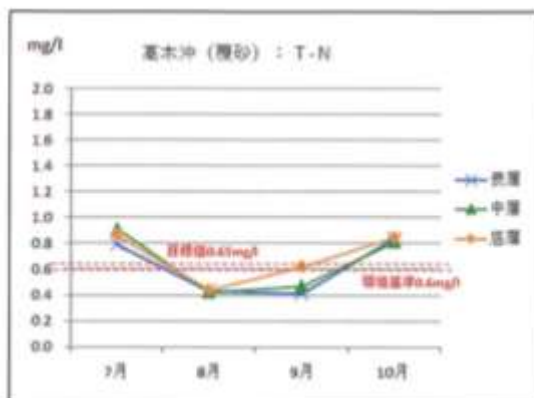
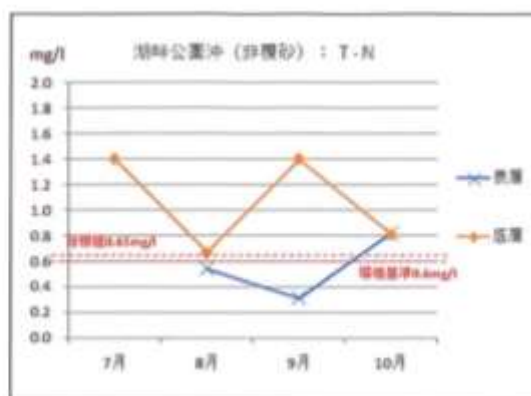
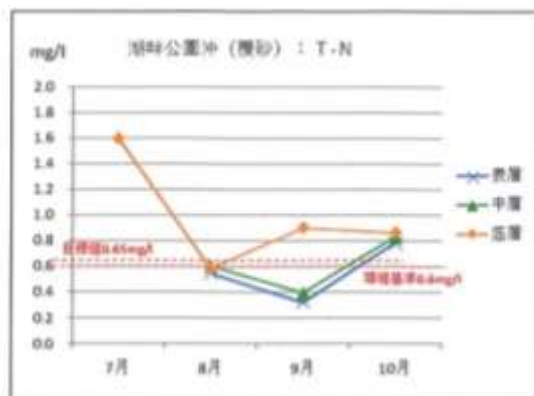
⑦ d-COD（溶解性COD）

8月～9月にd-CODの高い傾向が見られ、高木沖（覆砂）では9月に最もd-CODが高かった。概ねCODの推移に近似しているものの、CODの高いピークより1月程度遅れてピークが来たような傾向が見られる。その要因として有機質が8月から9月にかけて微細化が進んだものと思われる。また、湖畔公園沖（覆砂）の9月と有賀沖（覆砂）の8月において底層で特にCODが高かったが、d-CODについては底層と表層・中層との差があまりなかった。



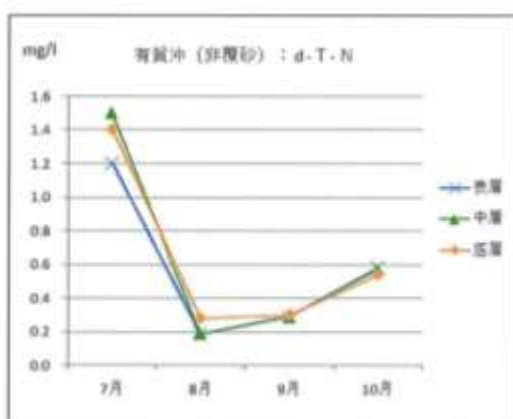
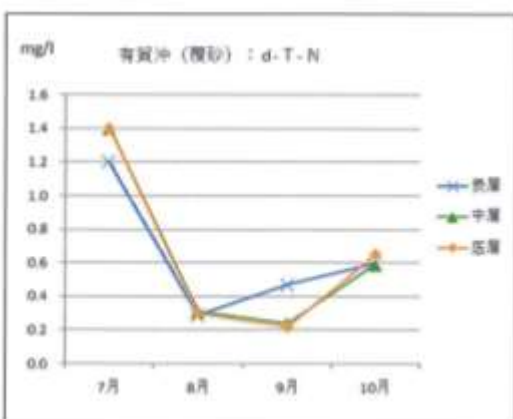
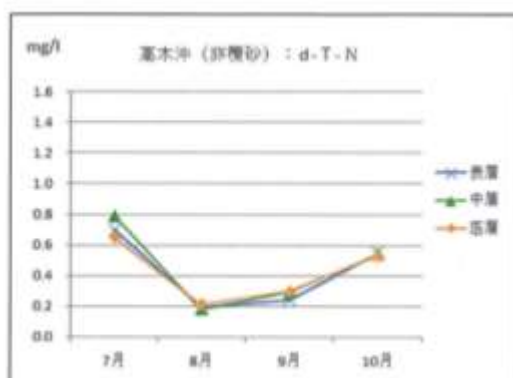
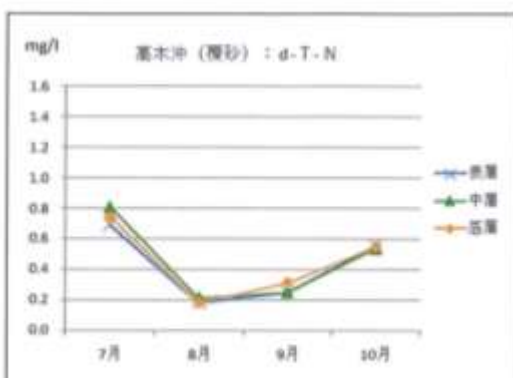
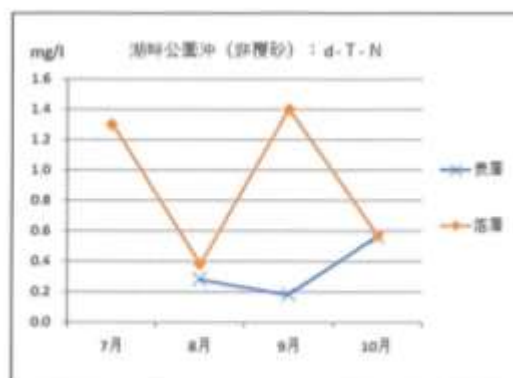
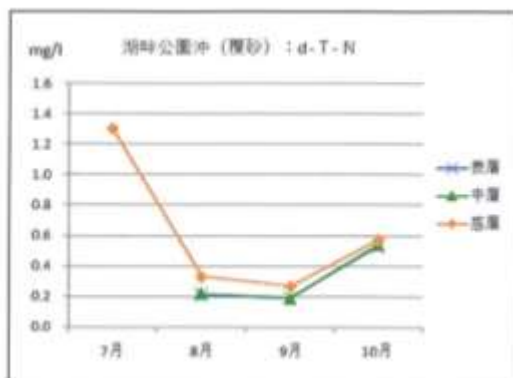
⑧ T N（全窒素）

8月は植物プランクトン量が多かったにもかかわらず、T Nが8～9月に低い傾向が見られた。その要因として、T Nが植物プランクトンに固定されている量以上にヒシやクロモなどの水草に固定されているものと考えられる。なお、湖畔公園沖（非覆砂）の底層では9月にT Nが高く、流入河川からのT Nを多く含んだ冷水の潜り込みの影響が考えられる。また、湖畔公園沖（覆砂）の9月と有賀沖（覆砂）の8月において底層で特にC O Dが高かったが、T NについてもC O D程ではないが、底層のT Nが表層・中層より高かった。



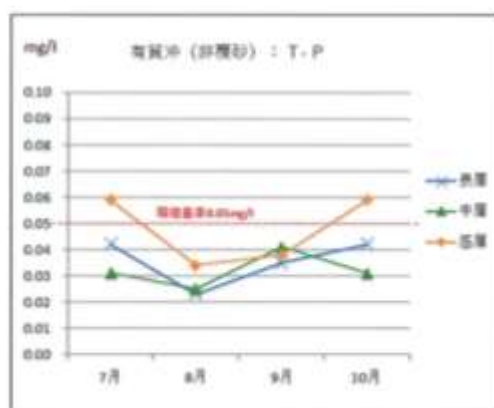
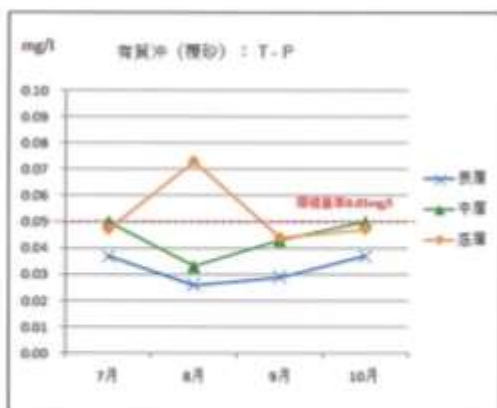
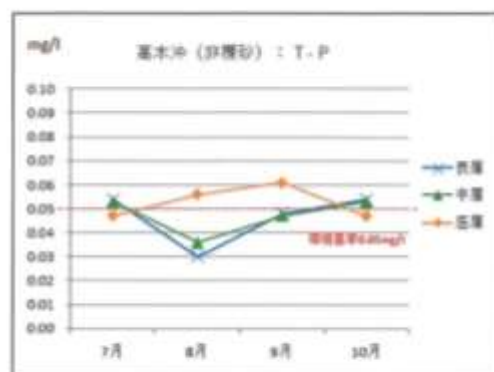
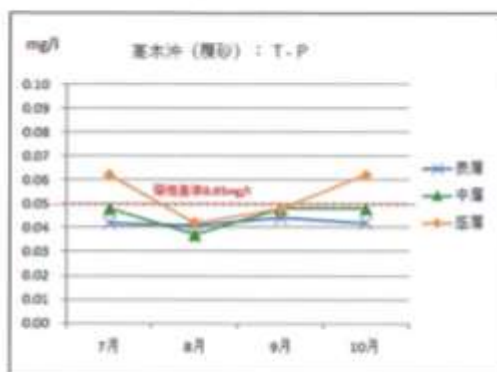
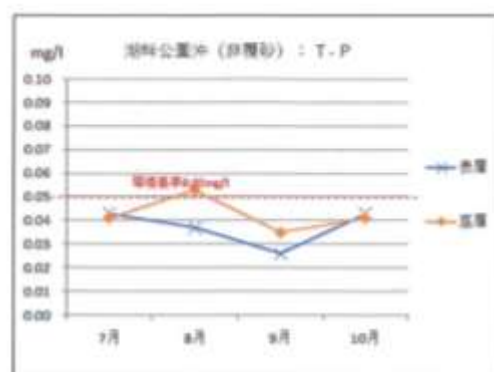
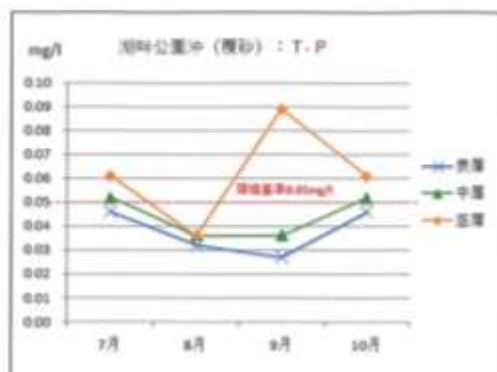
⑨ d-TN（溶存態全窒素）

8月は植物プランクトン量が多かったにもかかわらず、d-TNについてはTN以上に8～9月に低い傾向が顕著であった。その要因として、d-TNが植物プランクトンに固定されている量以上にヒシやクロモなどの水草に固定されているものと考えられる。なお、湖畔公園沖（非覆砂）の底層では9月にd-TNが高く、流入河川からのd-TNを多く含んだ冷水の潜り込みの影響が考えられる。また、湖畔公園沖（覆砂）の9月と有賀沖（覆砂）の8月において底層で特にCODが高かったが、d-TNについては、TNのような底層と表層・中層との差はなかった。



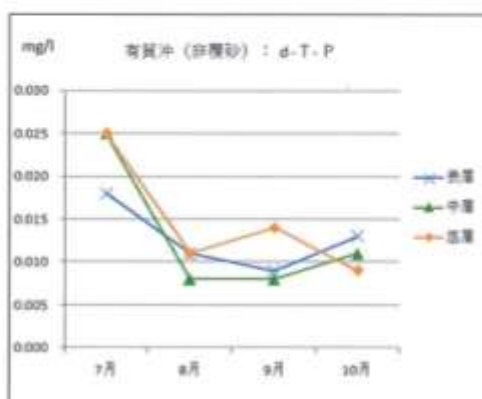
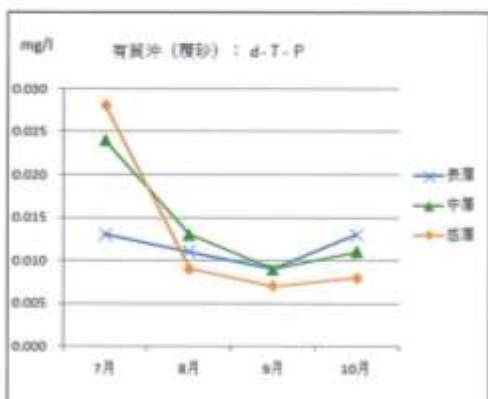
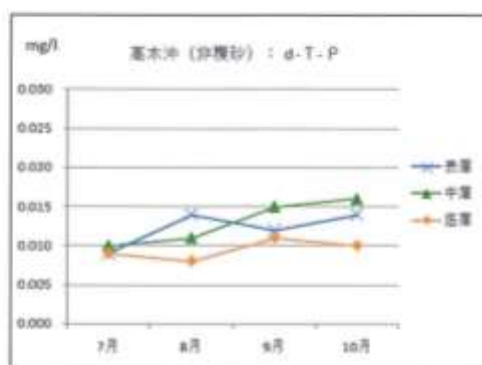
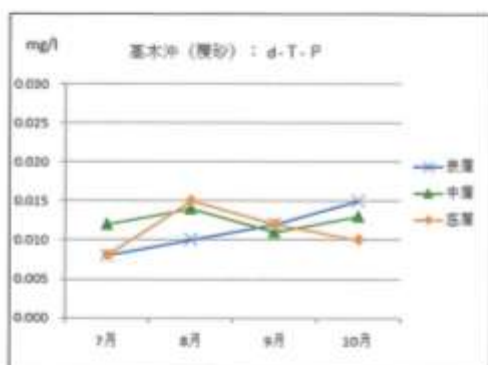
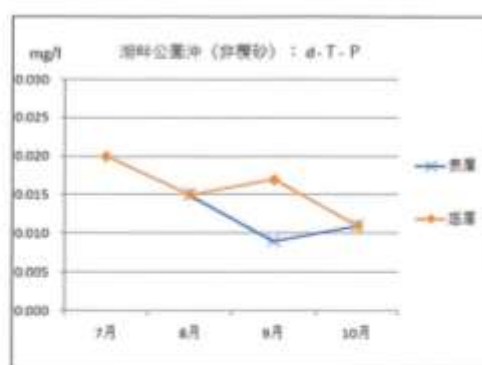
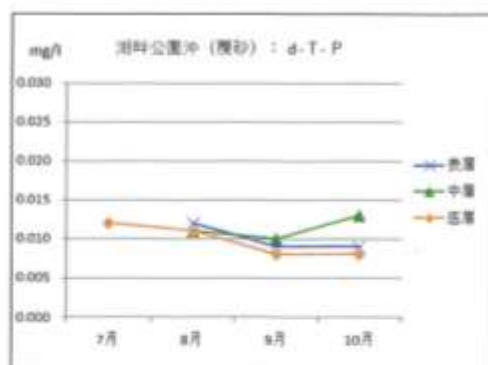
⑩ T P（全リン）

T Pは底層を除いて概ね環境基準を満たした。特に8月は植物プランクトン量が多かったにもかかわらず、T Pが低い傾向が見られた。その要因として、T Pが植物プランクトンに固定されている以上にヒシやクロモなどの水草に固定されているものの、植物プランクトン程にT Pの要求量（含有量）が高くないことによると考えられる。なお、湖畔公園沖（覆砂）の底層で9月にT Pが高いのは直前の覆砂工事に伴うヒシ刈りの影響があったものと思われる。有賀沖（覆砂）の底層で8月にT Pが高いのは調査時の荒波の影響が考えられるが、調査時同様の荒波のあった有賀沖（非覆砂）ではヒシが繁茂していたため、荒波の影響がほとんどなかったものと考えられる。



⑪ d-T P（溶存態全リン）

有賀沖（覆砂・非覆砂）及び湖畔公園沖（非覆砂）において7月に高い値を示しているが、その他の地点及び時期には顕著な変動が見られなかった。植物プランクトンが大量発生する前にd-T Pが高くなると言われているが、7月（調査実施日は7月31日）は本年度の諏訪湖において植物プランクトン量（細胞数）が多くなる前である。7月調査前には雨の日が多く、入流河川に近くてその水質の影響を受け易い有賀沖（覆砂・非覆砂）及び湖畔公園沖（非覆砂）の7月のd-T Pが高くなった可能性がある。



(2) 底質調査結果

含有試験による全窒素（TN）は高木沖及び有賀沖ともに非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高く、7月から2月にかけて高くなる傾向が見られたが、覆砂箇所には大きな変動は見られなかった。

含有試験による全リン（TP）も高木沖及び有賀沖ともに非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高い傾向が見られ、7月から2月にかけて高くなる傾向が見られたが、有賀沖の非覆砂箇所は大きな変動は見られなかった。覆砂箇所は高木沖及び有賀沖ともに大きな変動は見られなかった。

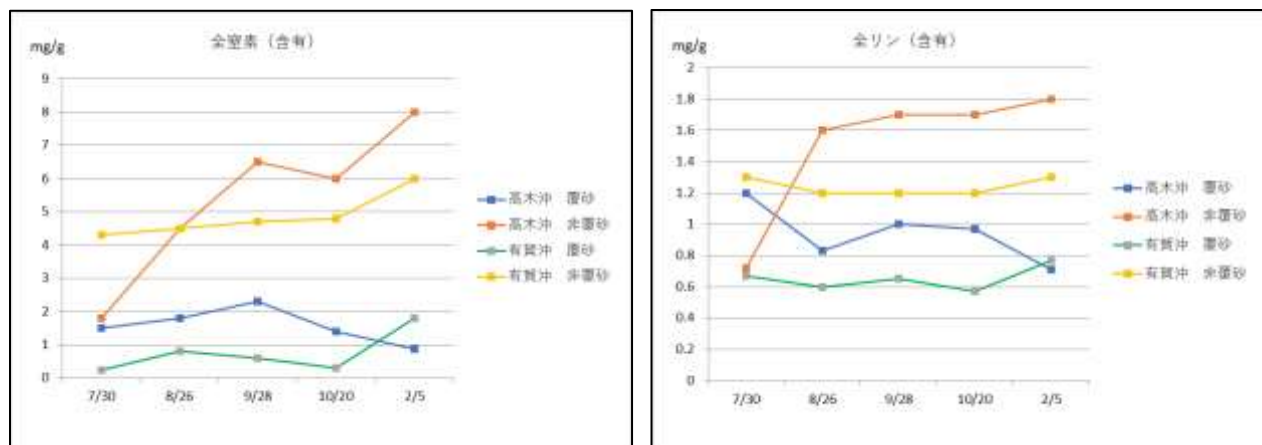


図2 底質分析結果（含有）

溶出試験による全窒素（TN）は高木沖及び有賀沖ともに非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高く、9月から2月にかけて高い傾向が見られた。非覆砂箇所については高木沖が9月と2月に高く、有賀沖は10月が高かった。覆砂箇所については高木沖が9月、10月に高く、有賀沖は8月、2月が高かった。

溶出試験による全リン（TP）は高木沖及び有賀沖ともに非覆砂箇所が覆砂箇所よりも高い傾向が見られたが、有賀沖の覆砂箇所については2月に非覆砂箇所以上に高くなった。全地点ともに8～9月に低い傾向が見られ、有賀沖の非覆砂箇所は7月に最も高くなったが、高木沖の非覆砂箇所のみ7月に最も低かった。

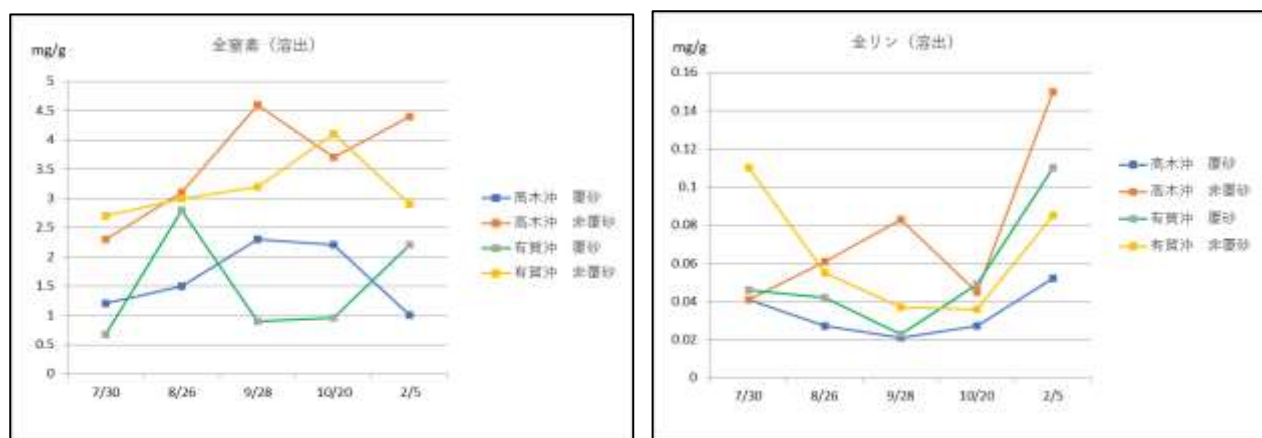


図3 底質分析結果（溶出）

(3) 水草調査結果

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、有賀沖の覆砂箇所のように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、地点全体の確認種数が湖畔公園沖（非覆砂）で7種、有賀沖（非覆砂）で6種、高木沖（非覆砂）で3種であり、いずれも非覆砂箇所の方が覆砂箇所よりも確認種数が1～5種多い。地点全体の重要種確認種数についても湖畔公園沖（非覆砂）で4種、有賀沖（非覆砂）で5種と、どちらも非覆砂箇所の方が覆砂箇所よりも1～2種多い。有賀沖及び高木沖の状況から考えると、非覆砂箇所の方が覆砂箇所よりも非覆砂箇所から覆砂箇所に重要種も含めて種の供給が行われると考えられる。そのため、浮遊植物のマツモが非覆砂箇所に生育していた場合、隣接する覆砂箇所で生育するようになり易く、沈水植物ではあるがホソバミズヒキモも同様の傾向があると考えられる。ササバモ、エビモについても切れ藻から発根して定着可能な水草であるため、今後覆砂箇所でも生育するようになる可能性は高いと考えられる。高木沖（非覆砂）及び有賀沖（非覆砂）のクロモ確認の推移を見ると、ヒシが繁茂している時期のクロモは切れ藻となっているが、9月には湖底から生えているクロモが確認されている。クロモの生態から考えてヒシの植被率が少し低くなってきた頃にクロモの切れ藻が発根して定着したものと考えられる。

一方で、コカナダモは湖畔公園沖（非覆砂）の流入河川の河口付近のみの確認であった。コカナダモは流入河川の上川や新川などでは繁茂しているが、諏訪湖のようにアルカリ性の強い水質は生育に不適であるため、湖内においては流入河川の河口付近などの特殊な場所のみに生育するものと考えられる。

表2 水草調査結果の概要

No.	科名	種名	湖畔公園沖 (本年度覆砂)				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 RL	長野県 RL	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		コカナダモ						●		●																			重点対策
5	ヒルムシロ	ホソバミズヒキモ					●	●	△										●	●	●			●				NT	
6		ササバモ								△																△		EN	
7		センニンモ																										EN	
8		エビモ					●	●							△														
地点・調査時期別確認種数			2	2	1	0	4	6	3	4	2	2	2	1	3	2	2	2	4	3	4	2	2	3	4	3	0	5	1
地点全体確認種数			2				7				2				3				4				6						

注1: ●: 湖底から生えている植物体、または浮遊植物(マツモ)を確認、△: 切れ藻の確認

注2: RLカテゴリ一例 CR: 絶滅危惧ⅠA類、EN: 絶滅危惧ⅠB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: クロモの湖底付近の植被率 100～75% (密) 74～25% (中) 24～5% (疎) 4～1% (僅か～稀)

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

注6: 本年度の湖畔公園沖の覆砂工事は、ヒシ刈りを9月調査直前に、調査地点の覆砂を10月調査直前(全体の覆砂は調査後まで実施)に行った



クロモ (水中)



ホソバミズヒキモ



マツモ



センニンモ



左からホソバミズヒキモ、コカナダモ、エビモ



コカナダモ

(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が、ヒシの根の乾燥重量当たりの全リンは9月に最も高かった。ヒシの乾燥重量当たりの全炭素については、7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窒素、全リン、全炭素すべてが7月に最も高く、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、全リンはクロモがヒシの葉及び茎より高い傾向があり、全炭素については7月～10月までのすべての時期で低かった。

ヒシの茎のC/Nは乾燥重量当たり及び湿潤重量当たりともに10月に最も高く、クロモのC/Nは乾燥重量当たり及び湿潤重量当たりともに10月に最も低かった。

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・ヒシは分解が速く、特にクロモは分解が速いと考えられる。なお、ヒシの根は10月にC/Nが高くなっているが、10月まで生き残っている個体の根は分解が遅いと考えられる。

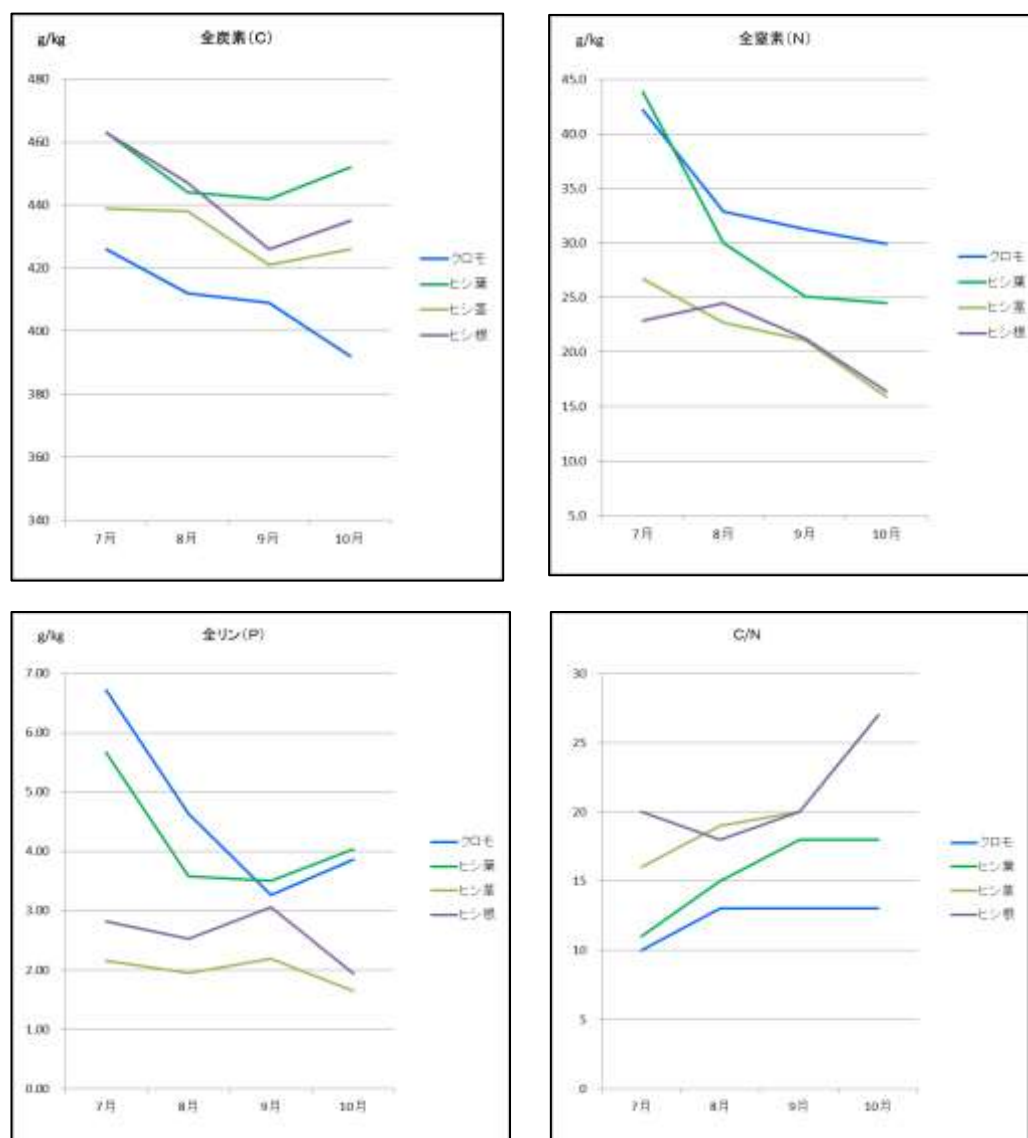


図4 水草分析結果（乾燥重量当たり）

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窒素、全リンが7月に最も高くなり、全炭素は10月に最も高くなった。

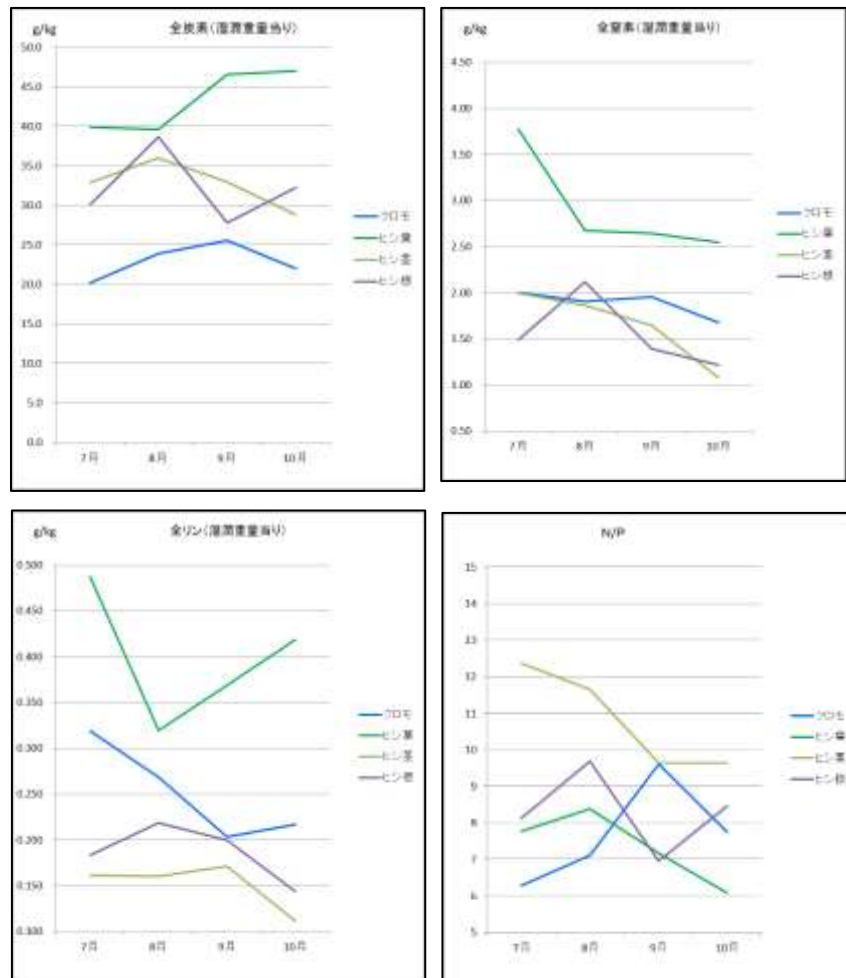


図5 水草分析結果（湿潤重量当たり）

水分についてはヒシよりクロモの方が水分が多く、ヒシの中では葉の水分が少ない。ヒシの葉及びクロモは7月に最も水分が多く、7月のクロモは重量比で95%以上が水分である。

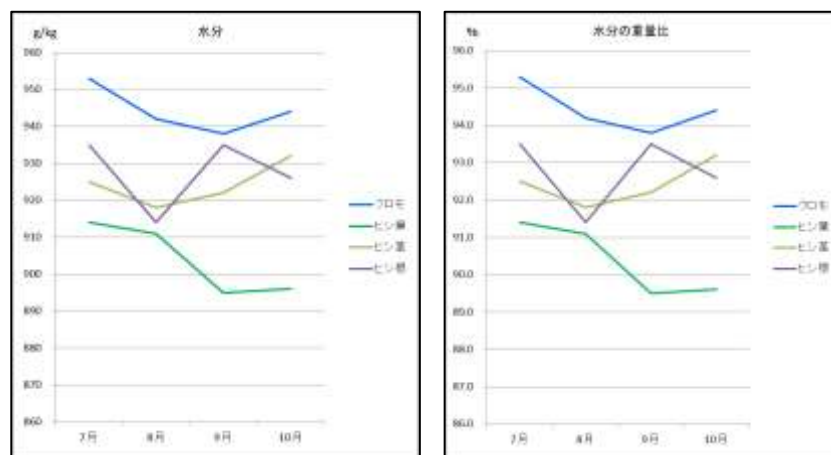


図6 水草分析結果（水分）

(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、令和元年度の覆砂工事中に突出して高くなっているものの、覆砂箇所及び非覆砂箇所ともに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、覆砂箇所の方がよりその傾向が顕著であるように思われる。

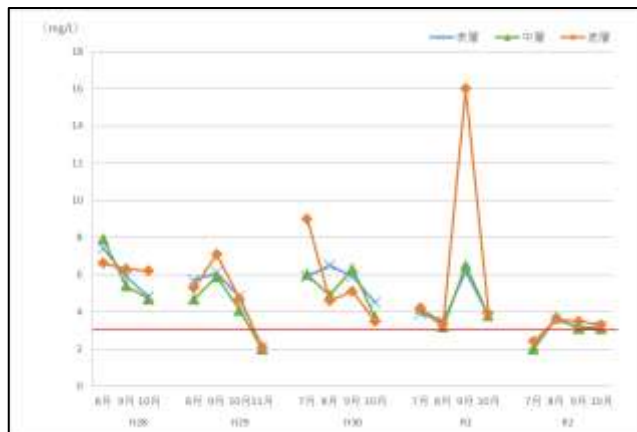


図7 高木沖（覆砂・COD）

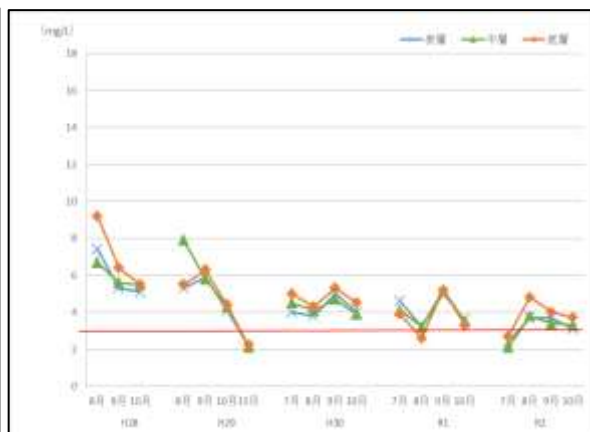


図8 高木沖（非覆砂・COD）

TN（全窒素）についても、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るが、覆砂箇所と非覆砂箇所での顕著な違いがないように思われる。

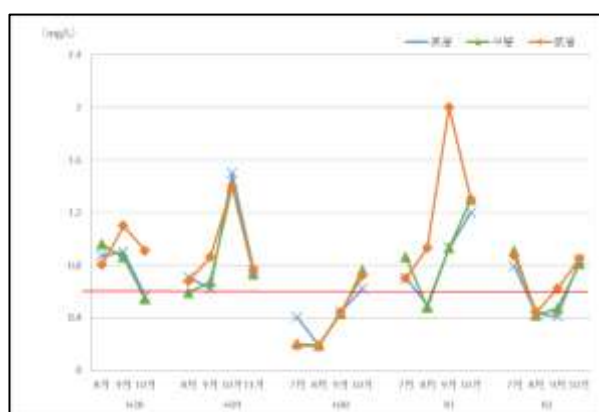


図9 高木沖（覆砂・TN）

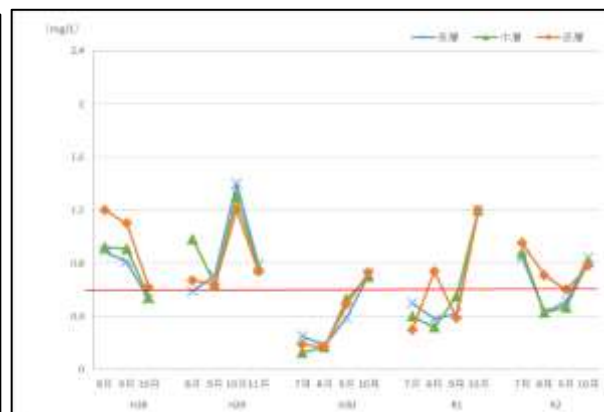


図10 高木沖（非覆砂・TN）

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るが、覆砂箇所と非覆砂箇所での顕著な違いがないように思われる。

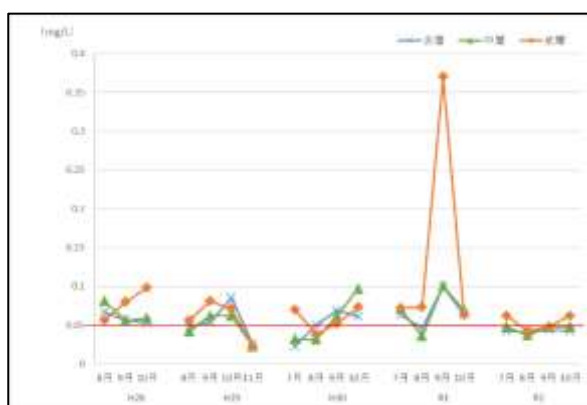


図11 高木沖（覆砂・TP）



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わなかった非覆砂箇所がR1年までDOの悪化傾向が見られるのに対し、H28年からR1年にヒシ刈りを行った覆砂箇所では、覆砂工事を行ったR1年まで顕著な変化が見られないように思われた。ただし、覆砂工事後のR2年には覆砂箇所及び非覆砂箇所でもDOの改善傾向が見られ、特に覆砂箇所それが顕著であった。

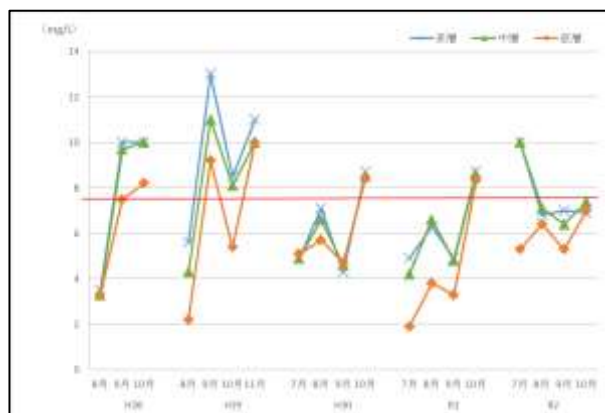


図 13 高木沖（覆砂・DO）

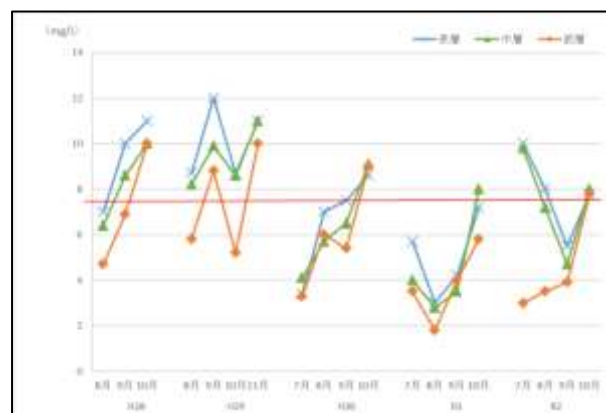


図 14 高木沖（非覆砂・DO）

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、非覆砂箇所ともに水質調査を行うようになった昨年度と比較し改善傾向にあると思われる。

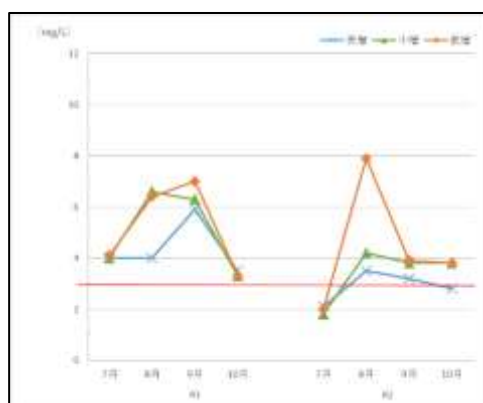


図 15 有賀沖（覆砂・COD）

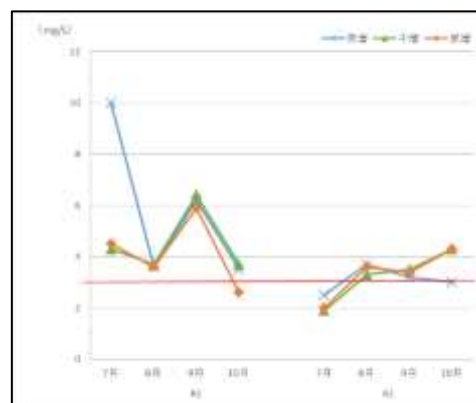


図 16 有賀沖（非覆砂・COD）

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昨年度と比較しやや改善傾向にあると思われる。

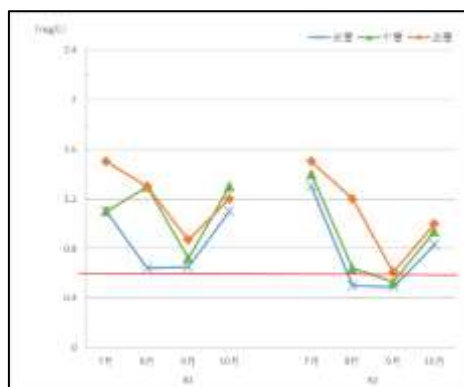


図 17 有賀沖（覆砂・TN）

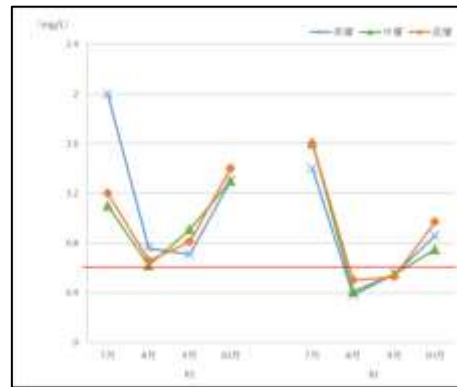


図 18 有賀沖（非覆砂・TN）

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昨年度と比較しやや改善傾向にあると思われる。

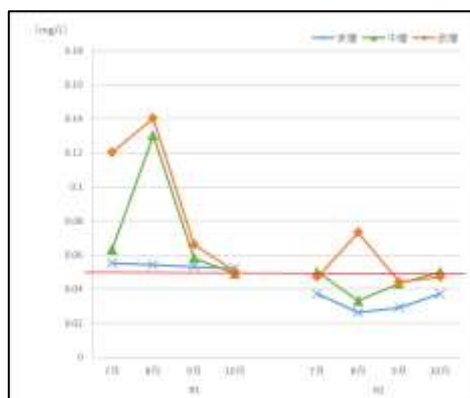


図 19 有賀沖（覆砂・TP）

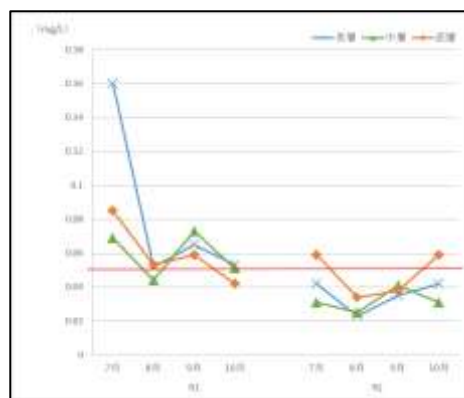


図 20 有賀沖（非覆砂・TP）

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昨年度と比較しやや改善傾向にあると思われる。

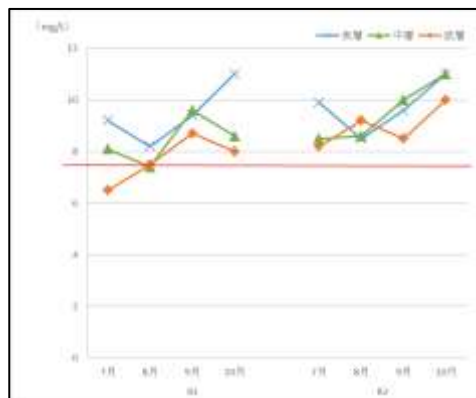


図 21 有賀沖（覆砂・DO）

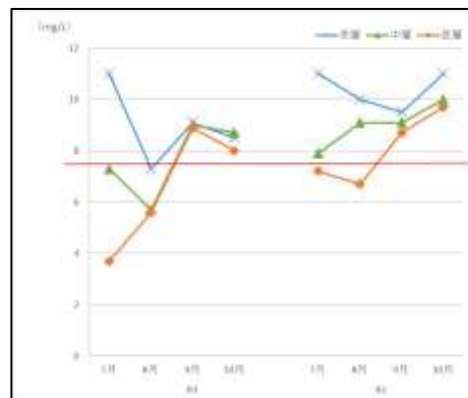


図 22 有賀沖（非覆砂・DO）

(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）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り、本年度は昨年度と比較してそれが顕著であったように思われる。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クロモが生育・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繁茂している期間が短くなり、クロモが切れ藻として残っていれば発根して根付く状況も確認され、湖畔公園沖や有賀沖の非覆砂箇所のようにクロモ以外にもホソバミズヒキモやマツモなどの多種の水草が確認された場所もある。これらのことから、ヒシ刈りや覆砂工事が進められる中で、それらを行わなかった場所も含めて諏訪湖全体としての水草の多様性も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

令和元年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

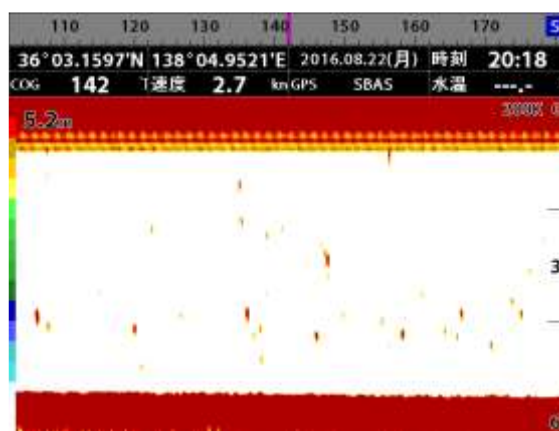


図2 魚群探知機の反応像

(赤や黄色で表示された点がワカサギの反応像)

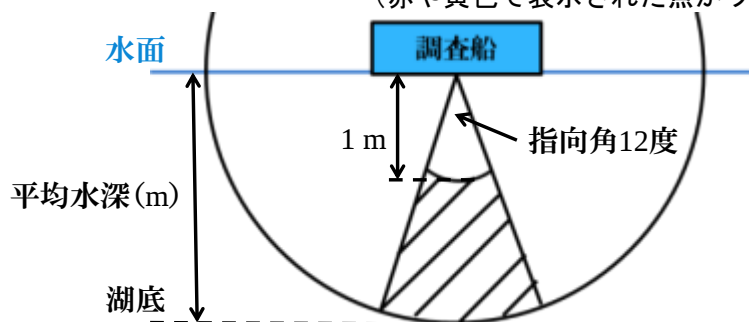


図3 探査面積の範囲

(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2年7月から令和3年3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1,248～6,162万尾であった（図4）。なお、12月下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年間で比較すると、今年度の資源尾数は、最も多かった平成30年度と同程度であった。

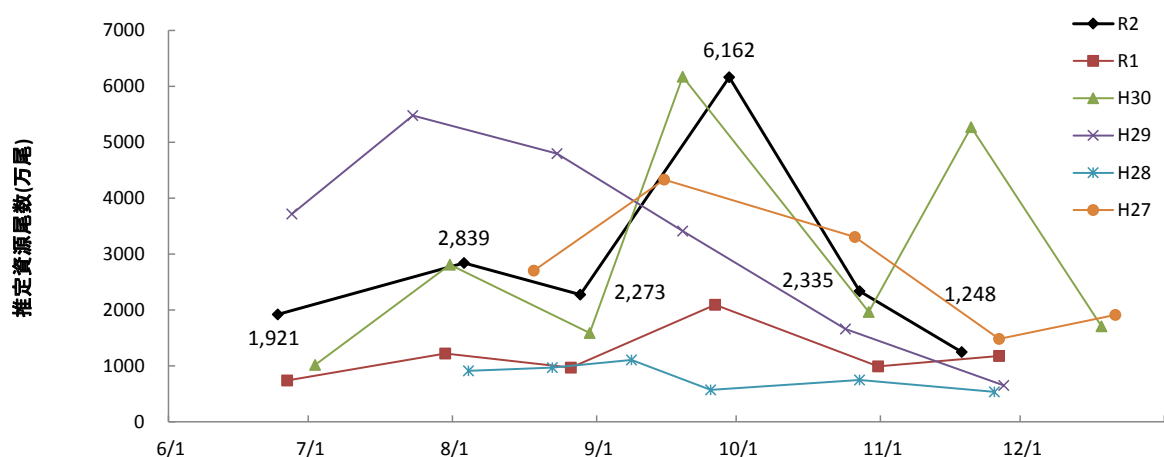


図4 平成27～令和2年の諏訪湖のワカサギ推定資源尾数

5.3.2. 成長調査

0歳魚の平均体重、平均体長および平均肥満度は、平成30年度に次いで2番目に小さかった（図5、図6、図7）。今年度の資源尾数は平成30年度と同程度と推定されたが、成長はより良好であった。本年度は例年より早くからワカサギの初期餌料となるゾウミジンコが発生したため、初期の成長が平成30年度より良く、その後の成長も勝った可能性がある。

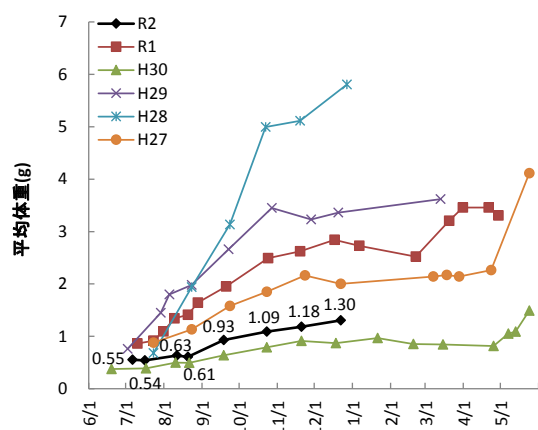


図5 ワカサギ0歳魚の平均体重

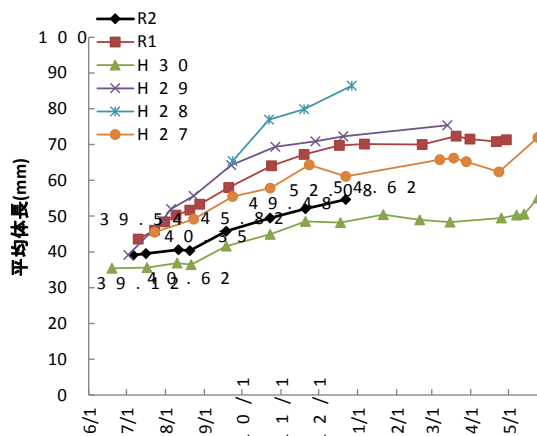


図6 ワカサギ0歳魚の平均体長

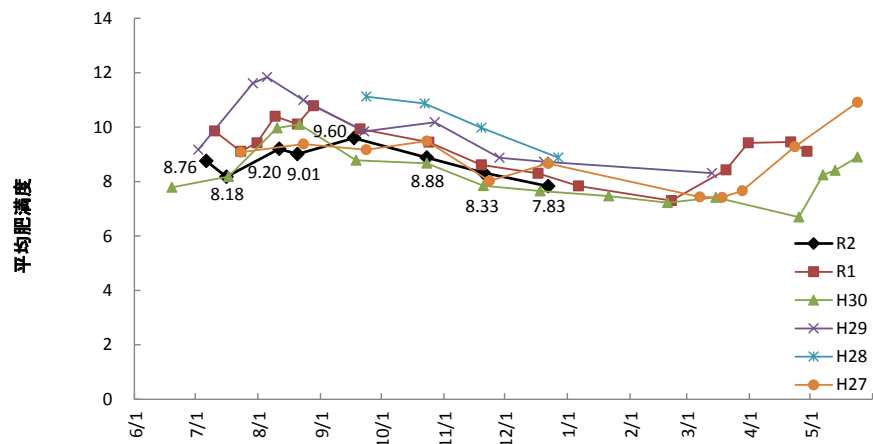


図7 ワカサギ0歳魚の平均肥満度

5.4. まとめ

- ・ 6月～11月のワカサギの推定資源尾数は、約1,248～6,162万尾であった。
- ・ 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30年度に次いで2番目に小さかった。

6 章 流入河川水量等調査

環境保全研究所水・土壌環境部

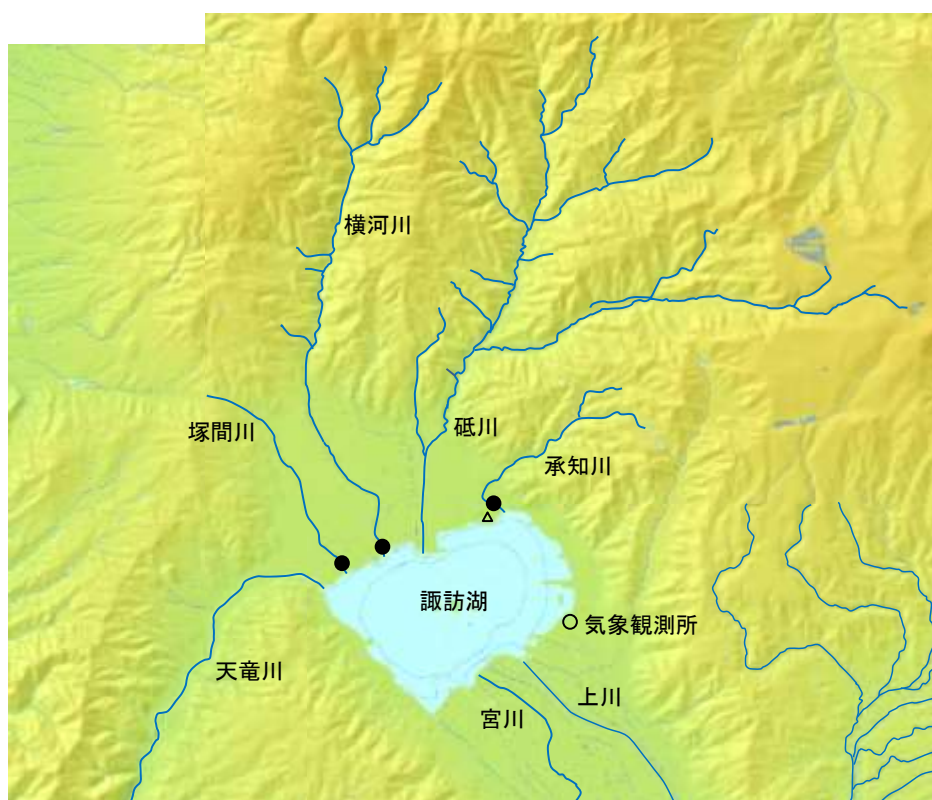
6.1. 調査目的

諏訪湖流入河川の水量等を把握することにより、水質保全対策のための基礎資料を作成することを目的とする。

6.2. 調査方法

6.2.1. 調査地点

諏訪湖北側に流入する3河川（塚間川・横河川・承知川）に水位計を設置し測定を行った。また、上記3河川の水圧を補正する目的で、1地点（水産試験場諏訪支場）において大気圧の測定を行った。測定点の位置を、図 6.2.1.1 に示す（測定点の詳細については、資料1）。



※ 地図は、カシミール 3D で作成

記号	備考
●	水位計 設置場所
△	大気圧(補正用)
○	気象庁 諏訪特別地域気象観測所

図 6.2.1.1 調査地点

6.2.2. 調査実施日

現地調査の実施日を表 6.2.2.1 に示す。水位計の測定期間を表 6.2.2.2 に示す。

表 6.2.2.1 現地調査の実施日

調査日	状況	データ 回収	流速等 測定	採水	実施者
2020/ 4/ 3	平常時	○	○		環境保全研究所水・土壌環境部
2020/ 4/13	降雨時		○	○	諏訪地域振興局環境課
2020/ 4/24	平常時	○	○	○	環境保全研究所水・土壌環境部
2020/12/11	平常時	○	○	○	環境保全研究所水・土壌環境部
2021/ 2/26	平常時	○	○	○	環境保全研究所水・土壌環境部
2021/ 4/ 2	平常時	○	○		環境保全研究所水・土壌環境部

表 6.2.2.2 水位計の測定期間

測定地点		測定期間
1	塚間川	2020/ 4/ 1 00:00 ～ 2020/ 4/19 16:00 2020/ 4/24 10:30 ～ 2021/ 4/ 1 00:00
2	横河川	2020/ 4/ 1 00:00 ～ 2020/ 4/19 17:00 2020/ 4/24 12:30 ～ 2021/ 4/ 1 00:00
3	承知川	2020/ 4/ 1 00:00 ～ 2020/ 4/19 16:30 2020/ 4/24 14:30 ～ 2021/ 4/ 1 00:00
4	水産試験場諏訪支場 (大気圧補正用)	2020/ 4/ 1 00:00 ～ 2020/ 4/19 20:00 2020/ 4/24 15:00 ～ 2021/ 4/ 1 00:00

※ 水量を求める際には、平成 30 年度の結果も一部活用した。

6.2.3. 測定項目及び測定方法

6.2.3.1. 水位計

水深の連続データ取得のために、圧力式の水位計を使用した。

- ・機種 : ONSSET 社製 HOB0 U-20-001-04
- ・測定項目 : 絶対圧 (kPa) ・水温 (°C)
- ・データ取得間隔 : 30 分 (毎正時と毎 30 分に取得)
- ・データ処理ソフトウェア : HOB0ware

6.2.3.2. 水深の求め方

本水位計は絶対圧を測定する形式であるため、測定値から大気圧を差し引く必要がある。長野県水産試験場諏訪支場に、河川に設置したものと同型の水位計を設置し、大気圧測定用として使用した。

圧力から水位 (水位計から水面までの距離) への変換は、データ処理ソフトウェアを使って、水の密度を水温で補正して行った。

$$h = (\text{絶対圧} - \text{大気圧}) / \rho g \quad h: \text{水位[m]} \quad \rho: \text{水の密度[kg/m}^3\text{]} \quad g: \text{重力加速度[m/s}^2\text{]}$$

求めた水位に、河床から水位計までの距離を加算して、水深（河床から水面までの距離）へ変換した。

$$H = h + L \quad H: \text{水深[m]} \quad h: \text{水位[m]} \quad L: \text{河床から水位計までの距離[m]}$$

6.2.3.3. 河川断面

検尺、巻尺、水準器を用いて、水位計設置場所の河川断面を測定した（資料2）。

6.2.3.4. 水深と流量の関係

現地での測深または水位計のデータから、測定時刻での水深を計算し、河川断面形状と水深と流速のデータから、採水日当日の流量を計算した。

実測した水深と流量を、次の相関式(H-Q式)¹⁾で近似できるように係数を求めた（資料3）。

$$Q = a(H + b)^2 \quad \therefore \sqrt{Q} = \sqrt{a}H + \sqrt{ab}$$

Q	流量	(m ³ /s)
H	水位	(m)
a, b	回帰計算から求まる係数	

6.2.3.5. 水質測定、流量測定の方法

測定項目	測定方法	
COD	JIS K0102 17.	100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD _{Mn})
全窒素 (T-N)	JIS K0102 45.2	紫外線吸光光度法
全りん (T-P)	JIS K0102 46.3.1	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法
SS	昭和 46 年 12 月 28 日環境庁告示第 59 号付表 9	浮遊物質 (SS) の測定方法
透視度	JIS K0102 9.	透視度 (現場測定)
電気伝導率	JIS K0102 13.	電気伝導率 (現場測定)
pH	JIS K0102 12.1	ガラス電極法 (現場測定)
気温		サーミスタ温度計 (現場測定)
水温	JIS K0102 7.2	水温 (現場測定)
流量 (流速・水深・川幅)	昭和 46 年 9 月 30 日環水管第 30 号 環境省水質保全局通達 水質調査方法 四(1)カ	浮木測定 (現場測定)

6.3. 調査結果

6.3.1. 流量の経時変化

気象庁観測所諏訪局における 2020 年度の日別.7 降水量を図 6.3.1.1 に示す。

6.2. で求めた HQ 式を用いて 3 河川の流量を求めた。各河川の日平均流量の経時変化を図 6.3.1.2～図 6.3.1.4、流量の月ごとの経時変化を図 6.3.1.5 に示す。参考として、2019 年度の流量の月ごとの経時変化を図 6.3.1.6 に示す。

2020 年度は、塚間川の最大流量は約 200,000m³/日、横河川の最大流量は約 470,000m³/日、承知川の最大流量は約 210,000m³/日であった。

図 6.3.1.5 をみると、今回調査した 3 河川は 7 月と 10 月に流量が増加していた。7 月は梅雨前線の影響、10 月は台風や秋雨前線の影響によって増水したと思われる。

表 6.3.1.1 と図 6.3.1.7 に、2019 年度の流量と 2020 年度の流量、比率、流域の最高点の標高を示した。図 6.3.1.8 に降雨量の経年変化を示した。

3 河川共に、2020 年度の流量は 2019 年度に比べて増加していた。3 河川における流量の増加の原因としては、図 6.3.1.8 に示すように降水量の増加によるものと思われる。

なお、表 6.3.1.1 を詳細に見ると、河川によって 2020 年度と 2019 年度の流量の比率が異なっていた。そこで、流域の最高点の標高と流量の比率を図示してみたところ（図 6.3.1.7）、流域の最高点の標高が高くなるにつれて流量の比率も大きくなっていた。一般的に、降水量は標高の高いところほど多い傾向があるため（標高効果²⁾、標高の高い地点を含む流域は標高の低い流域よりも降水量の増加割合が大きかったと考えられる。

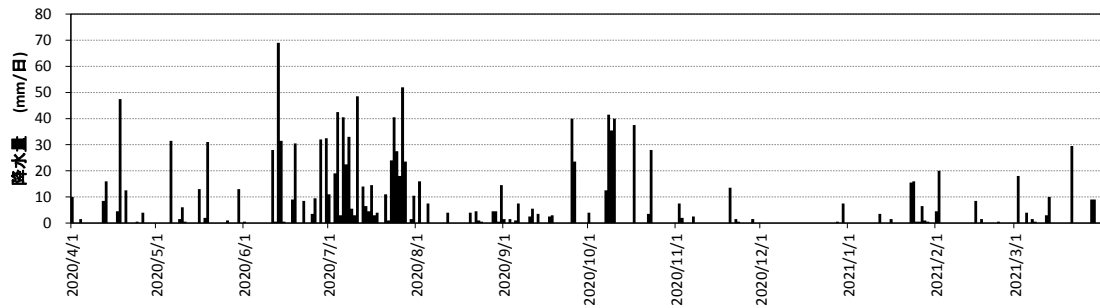


図 6.3.1.1 気象庁観測所諏訪局における降水量（2020 年度）

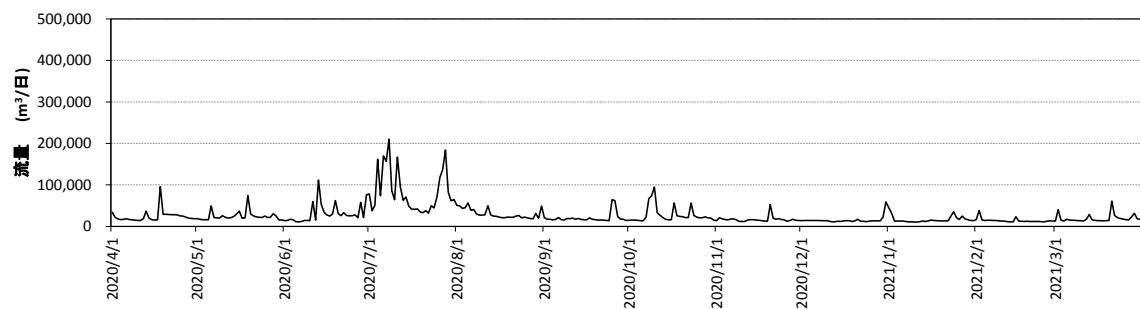


図 6.3.1.2 塚間川における流量の日毎の経時変化（2020 年度）

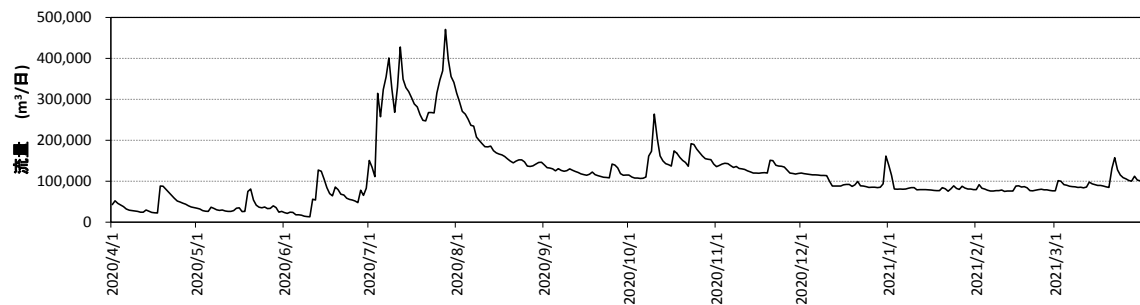


図 6.3.1.3 横河川における流量の日毎の経時変化（2020 年度）

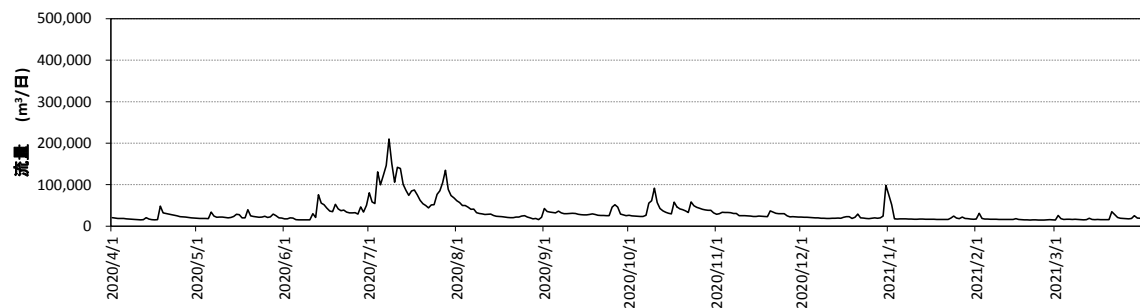


図 6.3.1.4 承知川における流量の日毎の経時変化（2020 年度）

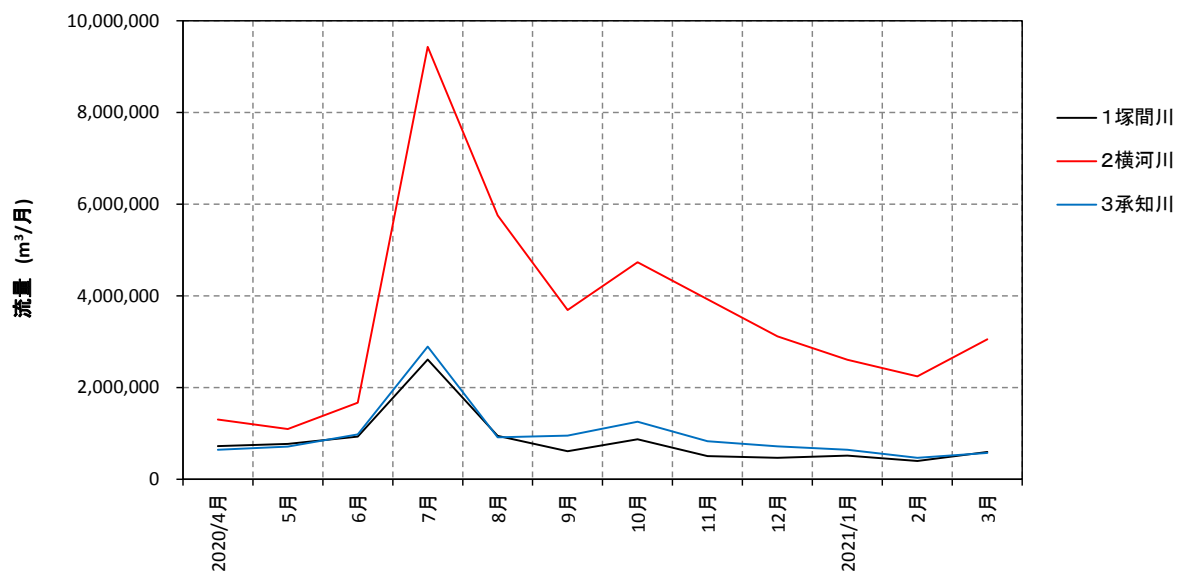


図 6.3.1.5 3 河川における流量の月毎の経時変化 (2020 年度)

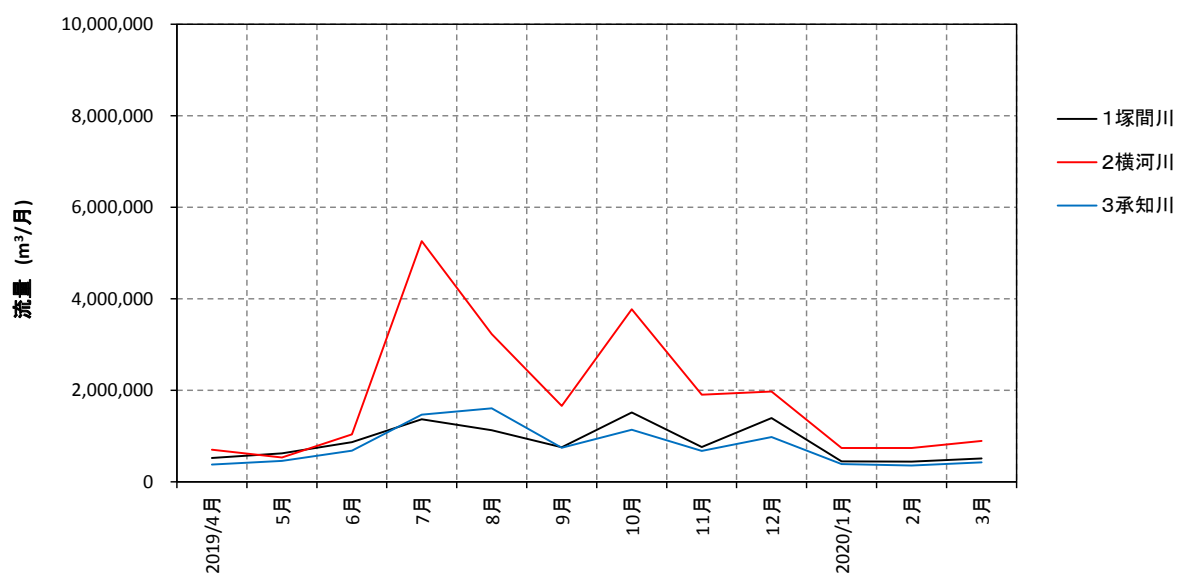


図 6.3.1.6 3 河川における流量の月毎の経時変化 (2019 年度)

表 6.3.1.1 2019 年度と 2020 年度の総流量と標高

		1塚間川	2横河川	3承知川
2019年度の流量	m ³	9,610,000	21,400,000	8,790,000
2020年度の流量	m ³	9,950,000	42,600,000	11,600,000
流量の比率	-	1.04	1.99	1.32
流域の最高点の標高	m	1200	1928.5	1545.6

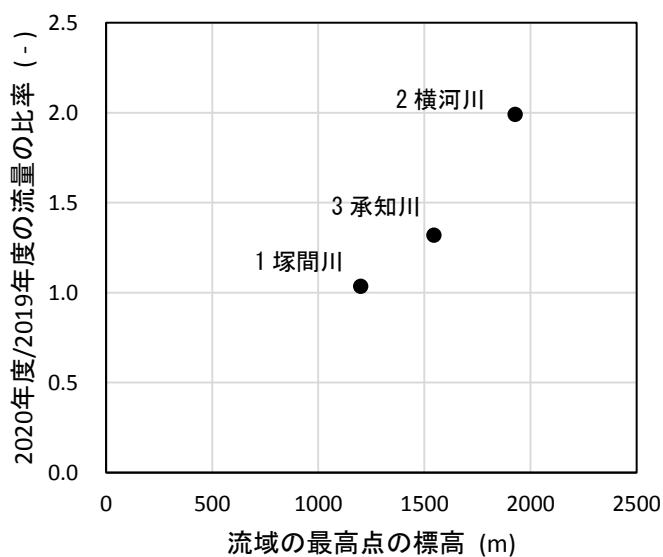


図 6.3.1.7 2020 年度と 2019 年度の流量の比率と流域の最高点の標高の関係

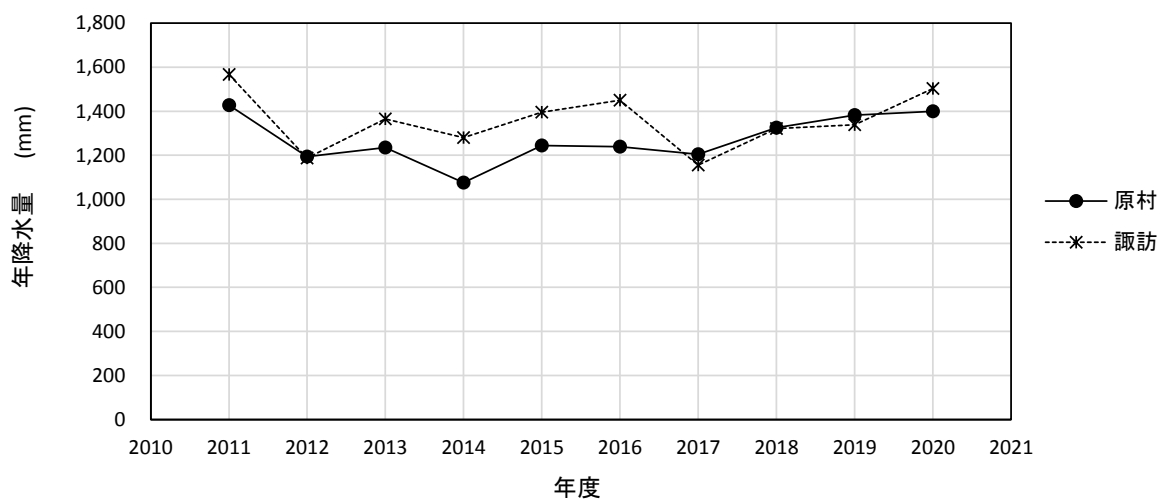


図 6.3.1.8 降雨量の経年変化

6.3.2. 豊水流量以上の流量が年間流量に占める割合

河川の日ごとの流量を大きい順に並びた際、95 日目の流量を豊水流量と呼ぶ。³⁾

ここでは、流量が豊水流量以上であった日の流量が年間流量に占める割合を計算した。結果を表 6.3.2.1 に示す。

今回調査した 3 河川共に、豊水流量以上の 1 日目～95 日目までの流量の合計は年間流量の約 50%であり、大きな割合を占めていることが分かる。

表 6.3.2.1 流量が豊水流量以上であった日の流量が年間流量に占める割合

日ごとの流量の 多い順	流量の合計			年間の流量合計に対する割合		
	1塚間川	2横河川	3承知川	1塚間川	2横河川	3承知川
	m ³	m ³	m ³	%	%	%
1日目～ 95日目	5,440,000	20,500,000	5,810,000	55	48	50
96日目～365日目	4,510,000	22,100,000	5,760,000	45	52	50
年間の流量合計	9,950,000	42,600,000	11,600,000	100	100	100

※ 流量については、有効数字 3 ケタで表示

6.3.3. 濃度

3河川の濃度の水質調査結果を図6.3.3.1から図6.3.3.4に示す。

塚間川は、全窒素は4月24日の濃度が高く、全りんは年間の変動が大きく、CODとSSは4月13日の濃度が高かった。

横河川は、全窒素は4月13日の濃度が高く、全りとSSは12月11日の濃度が低く、CODは通年大きな変動はなかった。

承知川は、全窒素、全りん、COD及びSSの4月13日の濃度が高かった。

4月13日は、降雨後の採水であったため、流出した土壌粒子の影響により各項目の濃度が高い傾向であったと思われる。また、横河川と承知川に比べて塚間川の濃度の変化が大きかったが、データ数が少ないため詳細は不明である。

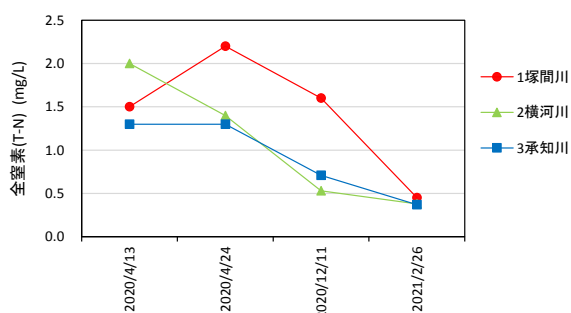


図 6.3.3.1 全窒素濃度の経時変化

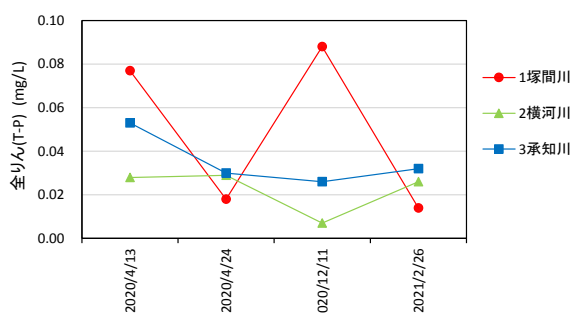


図 6.3.3.2 全りん濃度の経時変化

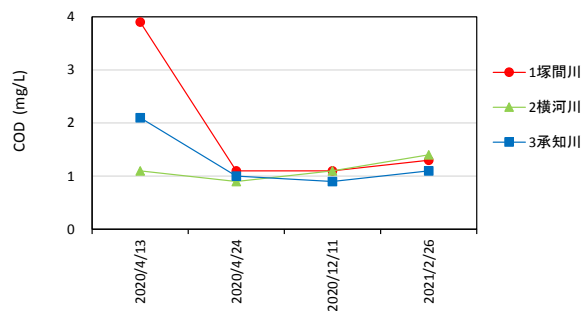


図 6.3.3.3 COD 濃度の経時変化

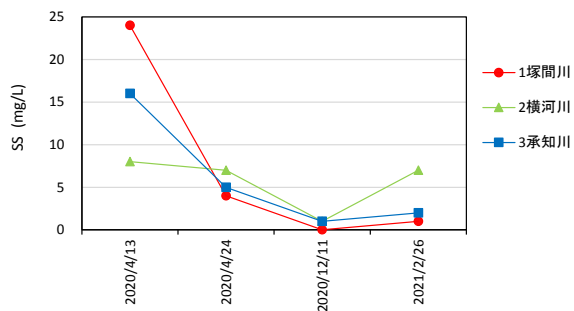


図 6.3.3.4 SS 濃度の経時変化

6.4. まとめ

R2(2020)年度の塚間川・横河川・承知川は、7月の梅雨前線の影響、10月の秋雨前線と台風の影響による増水量を確認することができた。

なお、令和3年度以降も水質測定を継続し、蓄積したデータを基にLQ式の作成を行う予定である。

参考文献

- 1) 非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）、平成26年12月、環境省水・大気環境局水環境課、p41
- 2) 地域環境水文学、2016年3月20日発行、田中丸治哉他、朝倉書店、p16
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所 ホームページ 河川用語集～川のことば～”流況”

第7章 水生動植物調査

水産試験場諏訪支場

7.1. 諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査

7.1.1. 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。

7.1.2. 調査内容

7.1.2.1. 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。

7.1.2.2. 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、8月4、5日に実施した。

7.1.2.3. 方法

7.1.2.3.1. 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。

7.1.2.3.2. 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。

7.1.3. 調査結果

7.1.3.1. ヒシの分布

平成20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140ha、刈り取り前の推定値は167haであった。刈り取り前の面積は令和元年より2ha増加した。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(%)
H23	213	16
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

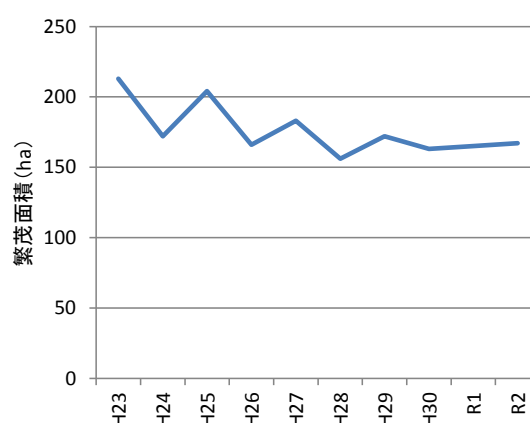


図1 ヒシの繁茂面積の経年変化

平成25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、刈り取りの面積はそれぞれ6ha（3%）、11ha（6%）、123ha（74%）、28ha（17%）であった。過去7年間と比較して、調査時点での本年の刈り取り面積は最も大きかった。周囲のヒシの状況から刈り取られる前の密度はHで、Hの合計面積は151haだったと推定される。

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 面積(ha) (%)		合計面積 (ha)
	L	(%)	M	(%)	H	(%)			
H25.7.25	78	(38)	13	(6)	114	(56)			204
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

※ 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 25 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

7.1.3.2. 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、セキショウモは豊田沖を中心に、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年以降クロモとなっている。（図4、表3）。調査時のクロモの分布面積は68haで、過去7年間と比較して最大となった。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。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ったため、その面積は0haで過去7年間と比較して最低になった。

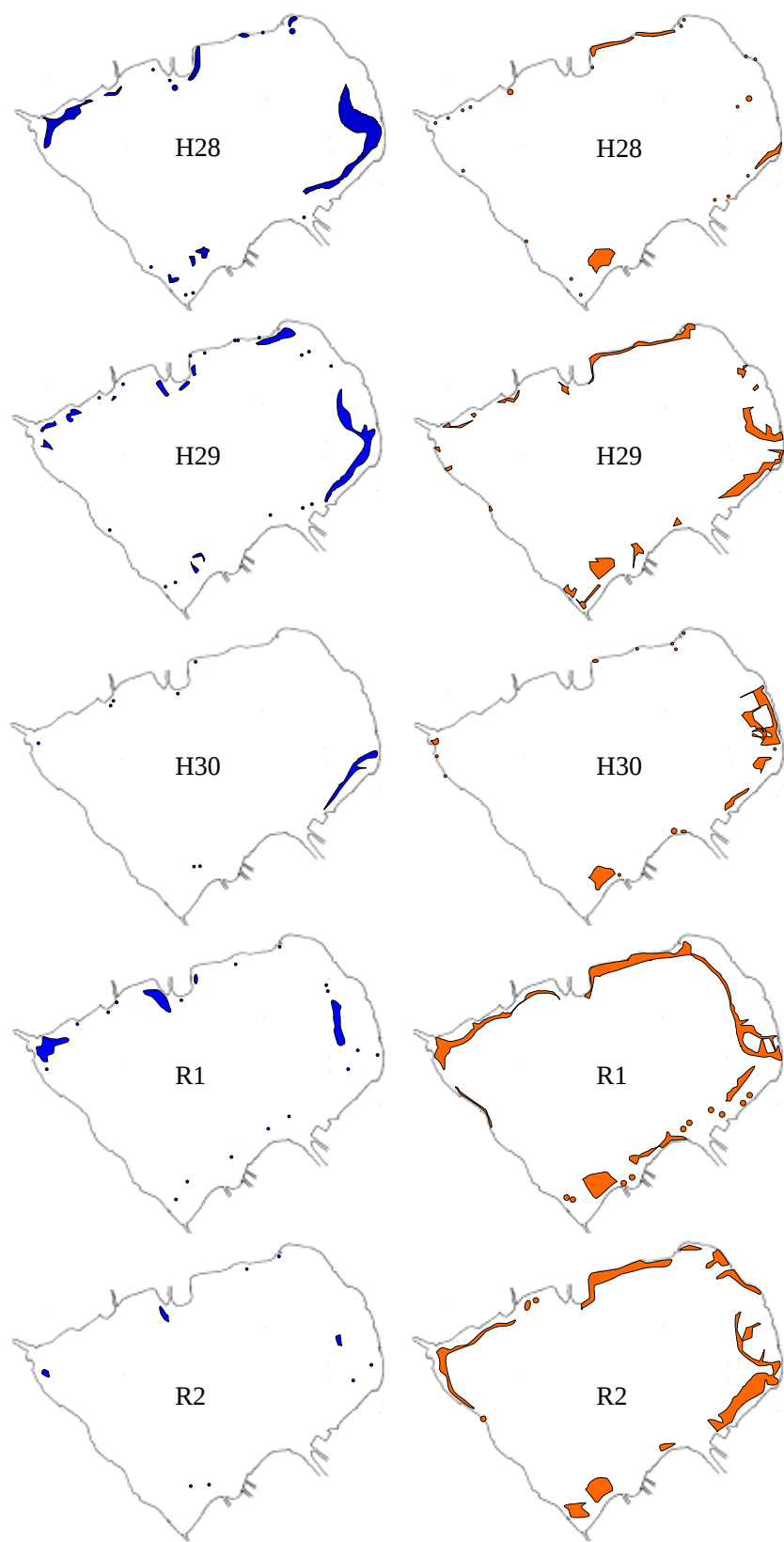


図4 エビモ（左）とクロモ（右）の分布の経年変化

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)
H25	38	2
H26	69	5
H27	16	4
H28	55	20
H29	33	47
H30	8	29
R1	6	52
R2	0	68

7.1.4. まとめ

- ・ 本年のヒシの繁茂面積は 167ha で、令和元年より 2ha 増加した。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 過去 7 年間と比較して、クロモの分布面積は最大、エビモの面積は最小となった。

7.2. メガネサナエのモニタリング

諏訪地域振興局環境課

7.2.1. 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。

7.2.2. 調査方法

7.2.2.1. 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2年8月21日、9月3日及び9月20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

7.2.2.2. 羽化殻調査

羽化期の令和2年7月15日、7月25日及び8月4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

7.2.3. 調査結果

7.2.3.1. 成虫調査

表1 成虫調査の結果

実施日	令和2年8月21日(金)		令和2年9月3日(木)		令和2年9月20日(日)			
	往路	復路	往路	復路	往路	復路	往路	復路
天候	晴れ	晴れ	曇り	曇り一時小雨	曇り	曇り	晴れ	晴れ
気温(℃)	27.0	33.2	26.5	30.2	23.2	24.1	27.9	28.5
風向	-	-	NW	N	N	NE	NE	-
風力(m/s)	0	0	1.0	4.4	1.5	0.5	1.0	0
雲量(%)	10	10	80	100	100	90	30	20
照度(lux)	92,500	110,200	38,500	54,000	22,300	23,500	82,500	70,300
開始時刻～終了時刻	10:00～11:30	11:30～12:30	10:00～11:20	11:20～11:50	10:00～10:50	10:50～11:20	13:00～13:30	13:30～14:00
調査人数	3	3	3	3	2	2	1	1
メガネサナエ確認数 片道ごとの平均	6.0	12.0	6.0	1.3	1.0	0	7.0	6.0
メガネサナエ確認数 往路復路平均	9.0		3.7		0.5		6.5	

※9月20日は天候が回復したため午後に再調査

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、オスが多く、川の壁面に静止しているものや、川の水上进行飛行しテリトリーを形成しているものを確認した。確認数は8月21日が最も多かった。

7.2.3.2. 羽化殻調査

表2 羽化殻調査の結果

実施日	令和2年7月15日(水)			令和2年7月25日(土)			令和2年8月4日(火)			総計
調査箇所	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
メガネサナエ	34	28	0	30	14	6	13	8	8	141
ウチワヤンマ	69	30	9	10	5	6	2	4	2	137
オオヤマトンボ	40	12	0	31	2	1	17	22	6	131
コフキトンボ	38	0	6	34	1	12	20	7	4	122
ミヤマサナエ	2	1	0	5	0	1	0	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。

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。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る。

7.3. 湖畔の動植物モニタリング調査

環境保全研究所自然環境部

7.3.1. 調査目的

諏訪湖では、湖内の生態系だけでなく、沿岸域の抽水植物群落等からなるエコトーンを再生し、「多種多様な生きものを育む湖」を目指している。諏訪湖の抽水植物を中心とした植生帯の生態学的知見が乏しいことから、本調査では、その基礎資料として、諏訪湖沿岸域の抽水植物群落およびその植生帯を利用する生物、特に抽水植物群落での繁殖鳥類の現状把握を行う。

7.3.2. 調査方法

7.3.2.1. 湖畔の植生帯モニタリング

衛星画像解析（WorldView-2，分解能：1.84m）の参照情報取得のため、湖畔を 100m メッシュ単位に区切り、抽水植物の分布を現地調査で把握した。

7.3.2.2. 衛星画像による浮葉植物分布域の把握

中分解能衛星画像（Sentinel-2，分解能：10m）を利用し、浮葉植物分布域の季節変化を正規化植生指標（NDVI）で観測した。

7.3.3. 調査結果

7.3.3.1. 湖畔の植生帯モニタリング

諏訪湖畔で、まとまった（一定程度連続した）抽水植物群落は、南西部の水辺整備基本計画の B ゾーンに限定的で、他には砥川河口、高木周辺で確認された。

抽水植物群落の構成種では、ヨシ、マコモ、ミクリが湖畔で広く確認されたほか、コウホネも一部（上記 B ゾーン）に分布した。

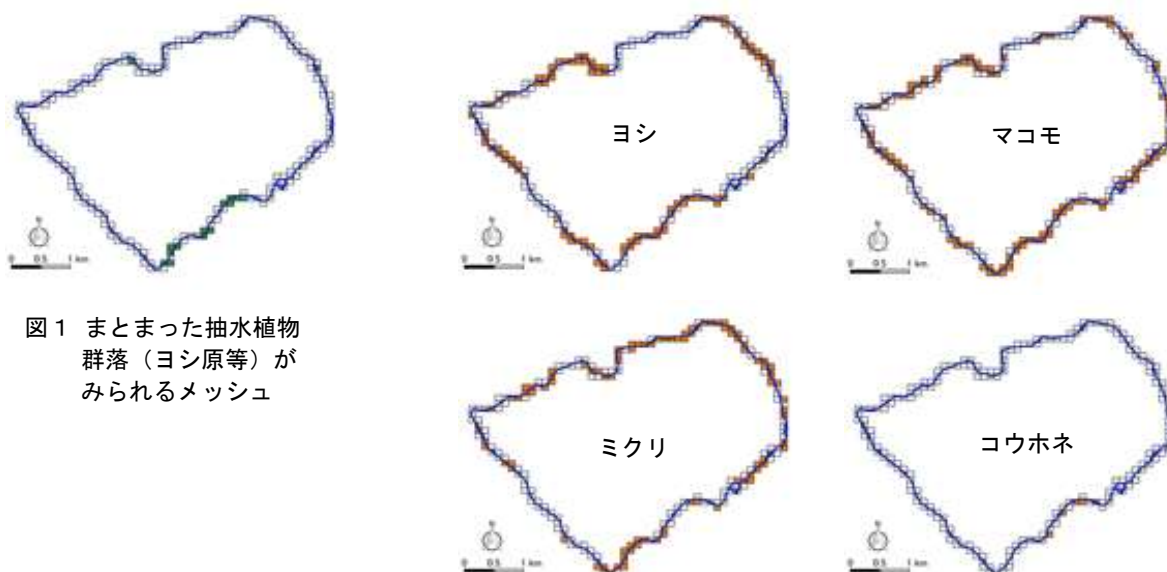


図1 まとまった抽水植物群落（ヨシ原等）がみられるメッシュ

図2 主な抽水植物（ヨシ・マコモ・ミクリ・コウホネ）の分布するメッシュ

7.3.3.2. 衛星画像による浮葉植物分布域の把握

中分解能衛星画像（Sentinel-2，分解能：10m）による諏訪湖畔から水界内での浮葉植物群落の分布の観測可能性を2019年の画像で確認したところ、2019年5月から10月にかけて撮影されたSentinel-2衛星画像では、水界内の水草分布域の季節的な消長が確認された（図3）。この水草分布域は、ヒシを中心とした浮葉植物群落域を反映したものと考えられる。

同様の手法で、2019年と2020年の衛星画像から推定される諏訪湖畔から水界内の浮葉植物群落面積の季節変化を把握した。浮葉植物群落は、2019年は5月下旬（1月1日からの日数：150付近）に生じ、8月上旬（同：210付近）に最大面積となり、10月下旬には消失する推移を示した（図4）。2020年は、浮葉植物群落の発生（出芽）が2019年よりも早く生じたが、2019年同様に8月上旬（同：210付近）に最大面積（153ha）、10月下旬にかけて減少する推移を示した（図4）。

水産試験場諏訪支場によるヒシ分布の現地調査（2020年8月4、5日）の結果では、ヒシの面積は167haであったことから、衛星画像からの推定最大値（2020年8月5日）は14ha小さかった。この差が生じた原因としては、NDVIで水草とした閾値以下の水域で、わずかにヒシが生育していた場合に、現地調査ではヒシ（低密度階級）として確認されている可能性が考えられる。この点については、今後、現地での水草分布域・密度調査結果と衛星画像からの推定結果の関係を確認したい。

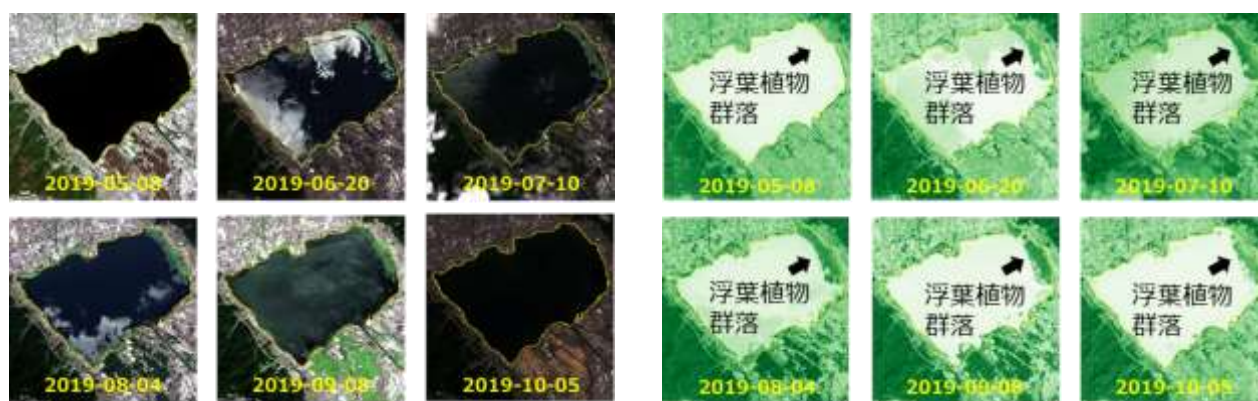


図3 中分解能衛星画像による諏訪湖のトゥルーカラー画像（2019年）とNDVI画像（2019年）

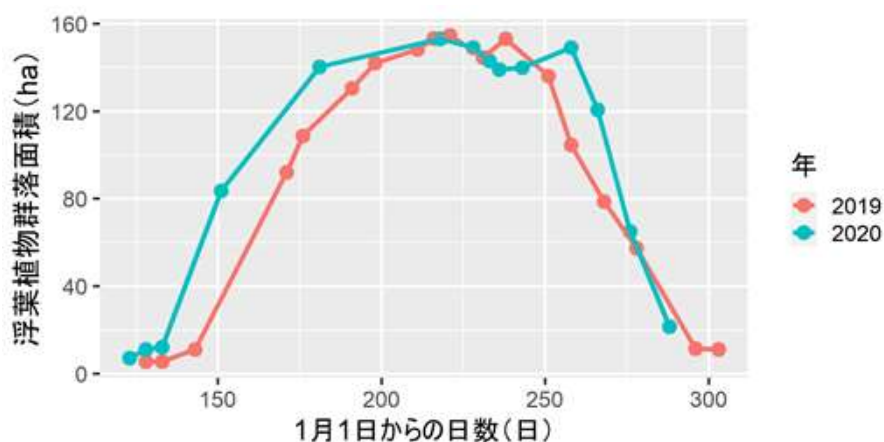


図4 衛星画像から推定した2019年と2020年の浮葉植物群落面積の季節変動

第8章 底質環境に関する調査

環境保全研究所水・土壌環境部

8.1. 調査目的

湖沼環境保全の点から不可欠な底質環境の改善については、変化の実態についての調査例が少なく、特に沿岸域では不明な点が多い。このため、現在の諏訪湖の底質環境の実態把握を行うとともに過去の底質の状況と比較するほか、底質の酸素消費速度などを測定し、今後の湖内の環境改善対策や新規の環境基準として設けられた底層溶存酸素量の類型指定を行う上で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。

8.2. 調査内容

8.2.1. 沿岸域等底質把握調査

8.2.1.1. 調査概要

本調査では、諏訪湖沿岸域の底質性状の過去からの変化や水生植物繁茂帯における底質性状の実態について、調査を実施した。それぞれの調査概要を以下に記載する。

- 沿岸域の実態把握※

過去の調査(1978-1980)から選定した沿岸域 10 調査地点において、鉛直方向の底質性状を調査し、過去からの変化を把握した。〔調査時期：2期（春・秋）、2018年〕

※ 調査結果の掲載先：「令和元年度諏訪湖創生ビジョン推進事業調査結果報告書」

- 水生植物帯の実態把握

水生植物繁茂帯内外（7調査区 14 地点）の底質性状(鉛直方向)の実態を調査し、繁茂域内と域外を比較した。〔調査時期：2期（春・秋）、2019～2020年〕

- 過去のシジミの生息域の実態把握

かつてシジミが採れたエリアから選定した沿岸域 3 調査地点において、底質表層の底質性状の現状、実態を調査した。〔調査時期：2期（春・秋）、2018～2019年〕

8.2.1.2. 調査地点

水生植物帯の実態把握については、ヒシ、クロモ等の水生植物繁茂帯から7調査区を選定し（ヒシ帯：4調査区、クロモ帯：2調査区、他[ヒロハノエビモ、ササバモ、セキショウモ等]：1調査区）、それぞれ水生植物繁茂域内の調査地点及び対照地点として繁茂域外の調査地点を選定した（表1、2及び図1）。

過去のシジミの生息域の実態把握については、かつてシジミが採れた浜に関する資料（県諏訪建設事務所提供）から調査エリアを選定し、調査エリア周辺の現地調査、水深調査から水深2m程度の3調査地点を選定した（表3及び図2）。

表1 調査地点一覧（水生植物帯の実態把握）

調査区	地点名	水深(m) ^{※1}	繁茂する水生植物 ^{※2}
① (諏訪市大和沖)	ヒシ①	2.0、1.9	ヒシ
	ヒシ①対照	2.7、2.8	-
② (下諏訪町高浜沖)	ヒシ②	2.2、2.2	ヒシ
	ヒシ②対照	3.3、3.1	-
③ (岡谷市湊沖)	ヒシ③	2.3、2.2	ヒシ
	ヒシ③対照	3.9、3.9	-
④ (岡谷市長地沖)	ヒシ④	2.3、2.3	ヒシ
	ヒシ④対照	3.2、3.0	-
⑤ (諏訪市日赤沖)	クロモ⑤	1.7、1.7	クロモ
	クロモ⑤対照	2.8、2.8	-
⑥ (岡谷市湖畔沖)	クロモ⑥	2.3、2.7	クロモ
	クロモ⑥対照	3.7、3.7	-
⑦ (諏訪市豊田沖)	自然植生区⑦	0.8、0.9	クロモ、ヒロハノエビモ、 ササバモ、セキシウモ
	自然植生区⑦対照	4.7、4.9	-

※1 採泥時(春期、秋期)の水深 ※2 採泥時に確認された水生植物

表2 調査地点の位置情報（水生植物帯の実態把握）

調査地点	位置	緯度	経度
ヒシ①	北澤美術館沖 約 150 m	36° 03' 18.40"	138° 06' 35.30"
ヒシ①対照	(調査地点間の距離 約 520 m)	36° 03' 20.50"	138° 06' 15.00"
ヒシ②	高浜信号沖 約 130 m	36° 03' 57.50"	138° 05' 55.20"
ヒシ②対照	(調査地点間の距離 約 260 m)	36° 03' 50.10"	138° 05' 50.90"
ヒシ③	湊湖畔公園沖 約 70 m	36° 02' 00.88"	138° 04' 21.91"
ヒシ③対照	(調査地点間の距離 約 180 m)	36° 02' 04.88"	138° 04' 27.50"
ヒシ④	諏訪湖ハイツ沖 約 50 m	36° 03' 35.20"	138° 04' 12.30"
ヒシ④対照	(調査地点間の距離 約 170 m)	36° 03' 33.00"	138° 04' 18.70"
クロモ⑤	諏訪赤十字病院沖 約 130 m	36° 02' 41.49"	138° 06' 16.74"
クロモ⑤対照	(調査地点間の距離 約 200 m)	36° 02' 44.86"	138° 06' 09.70"
クロモ⑥	塚間川沖 約 240 m	36° 03' 12.49"	138° 03' 37.48"
クロモ⑥対照	(調査地点間の距離 約 220 m)	36° 03' 08.18"	138° 03' 44.62"
自然植生区⑦	豊田終末処理場とガラスの里美術館の中間沖 約 230 m	36° 02' 03.40"	138° 04' 55.10"
自然植生区⑦対照	(調査地点間の距離 約 270 m)	36° 02' 08.70"	138° 04' 45.30"

表3 調査地点一覧（過去のシジミの生息域の実態把握）

地点名	位置	水深(m)	緯度	経度
湊	岸から 20 m	2.0	36° 01' 53.69"	138° 04' 33.41"
十四瀬川 (河口)	十四瀬川河口から約 200 m 沖、 赤砂崎公園西側	2.1	36° 03' 36.37"	138° 04' 24.41"
砥川東	赤砂崎公園東側、岸から 10 m	2.2	36° 03' 37.04"	138° 04' 50.23"

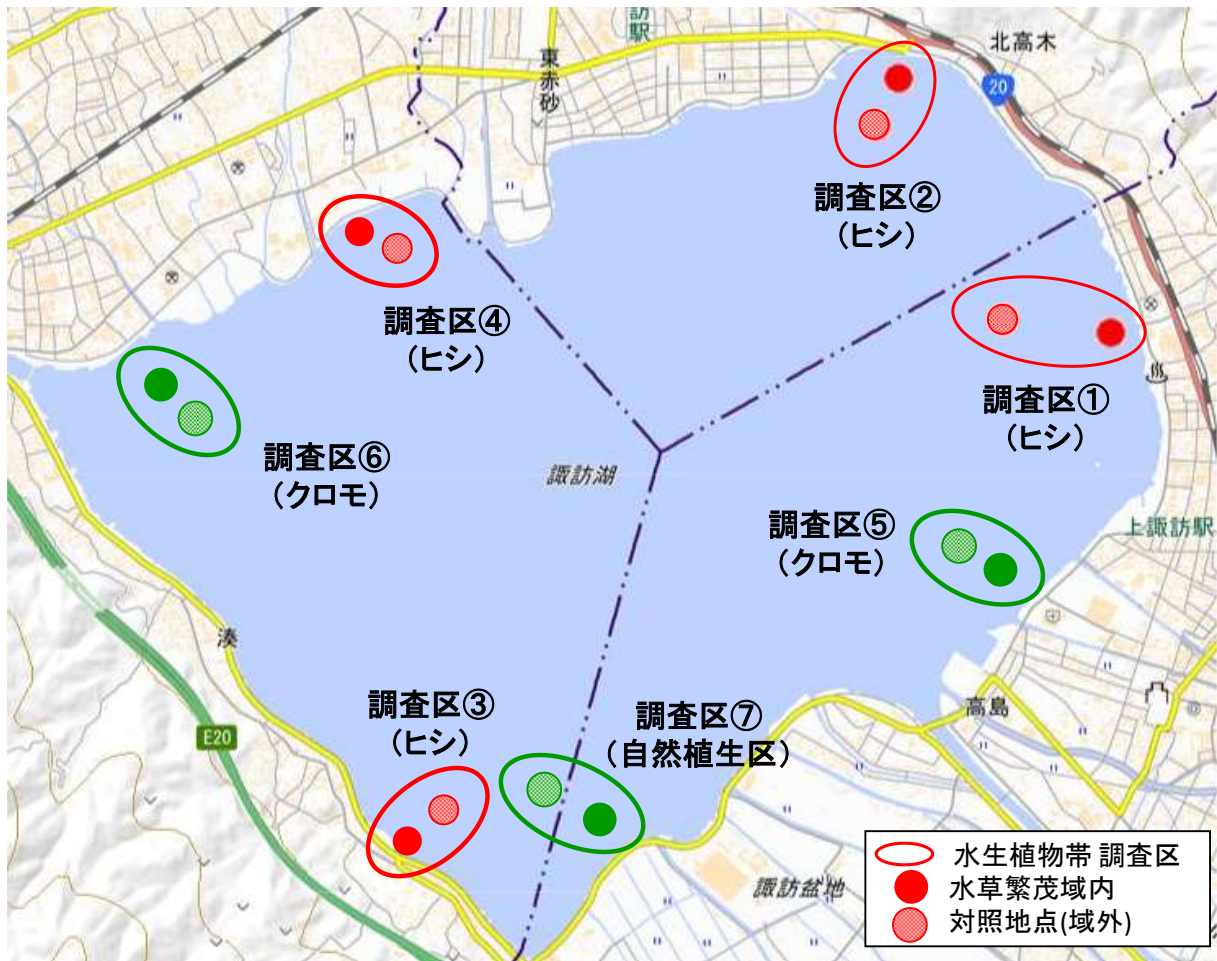


図1 調査地点図 (水生植物帯の実態把握)



図2 調査地点図 (過去のシジミの生息域の実態把握)

8.2.1.3. 調査時期

- 水生植物帯の実態把握
春期（4～6月）及び秋期（10～11月）、2019～2020年に採泥を実施した。
- 過去のシジミの生息域の実態把握
春期（3～5月）及び秋期（12月）、2018～2019年に採泥を実施した。

8.2.1.4. 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。また、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)に各地点3回採取したものを混合し、試料とした。

<鉛直方向の成分分析用試料調製方法>

採取した底泥コアサンプルについては、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2cm毎に10cmまで分画し、地点毎3本分を合わせた。分画した底質試料を遠心分離(3000rpm、20分)し、上澄水をガラス繊維濾紙(Whatman GF/B)でろ過し、ろ液を間隙水の試料とした。底質試料は、風乾し分析に供した。

8.2.1.5. 測定項目及び分析方法

測定項目及び分析方法を表4に示す。

表4 測定項目及び分析方法

対象	測定項目	分析方法
水質 ・直上水 ・間隙水	全窒素(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(JIS K0102 42.2)
	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)	サリチル酸ナトリウム吸光光度法(上水試験方法 10.3)
	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)
	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)
底質	強熱減量(IL)	底質調査方法 II 4.2
	全窒素	底質調査方法 II 4.8.1.1(中和滴定法)
	全りん	底質調査方法 II 4.9.1
	全硫化物	検知管法(全国漁業協同組合連合会(社)全国かん水養魚協会 硫化物の簡易測定法マニュアル)
	粒度分布	4.75mm、2mm、425μm、75μmの試験ふるいによる分別

8.2.2. 底質酸素消費速度調査

8.2.2.1. 調査地点

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～R2 年度の2ヵ年で湖内の調査を実施した。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)及び上川河口域とした。調査地点を表5及び図3に示す。

表5 調査地点一覧

地点	水深(m)	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 連続測定地点	36° 02′ 24.53″	138° 04′ 48.57″
上川河口域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″

※上川河口域の調査地点：第3章覆砂場所モニタリング調査地点(3.2.2.項) 参照



図3 調査地点図

8.2.2.2. 調査時期

- 環境基準点等沖合の地点：夏期(8～9月)
- 上川河口域：夏期(7～8月)、秋期(10～11月)

8.2.2.3. 採泥方法

不攪乱柱状採泥器による柱状採泥(8.2.1.4. 参照)

8.2.2.4. 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。実験装置を図4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℃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

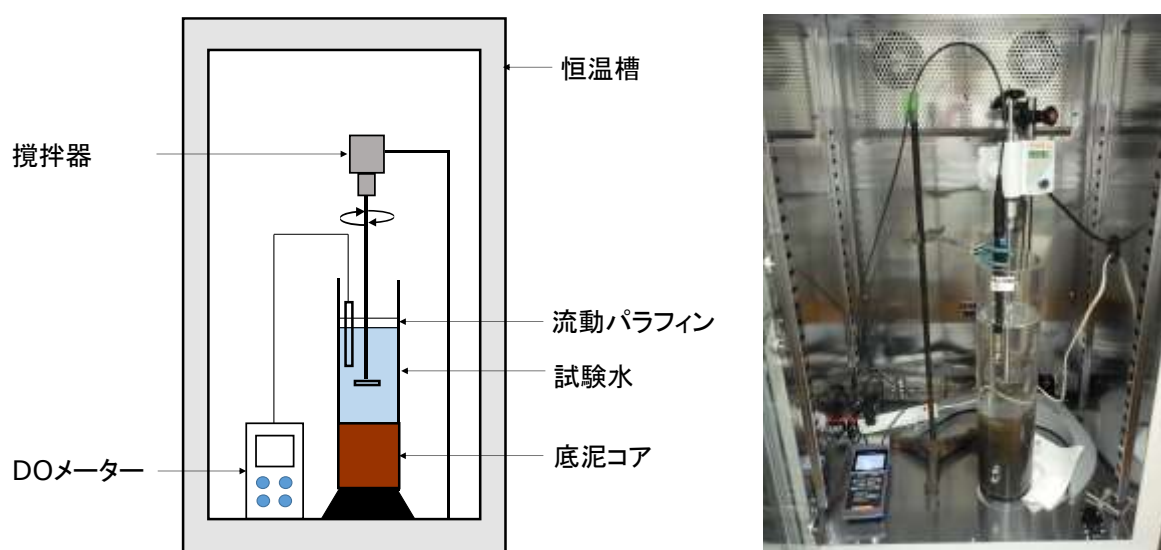


図4 酸素消費速度 実験装置 (左：模式図、右：写真)

8.3. 調査結果

8.3.1. 沿岸域底質把握調査

8.3.1.1. 水生植物帯の実態把握

調査地点の概況について、水生植物繁茂域内の調査地点では6月～9月頃に表1に示す水生植物が繁茂し、対照地点では水生植物の繁茂は確認されなかった。

以下、測定項目ごとに調査結果を示す。なお、測定データの詳細は資料編に示す。

<窒素>

底質表層(0-2 cm)の全窒素含有量の測定結果(2019～2020年)を図5に示す。また、調査区①、②、④及び⑦については、同地点における2013年の調査結果を図中に併記した(強熱減量、りんの影響について同様)。

水生植物繁茂域内の地点と域外の対照地点を比較すると、ヒシ帯について、湖内東部及び北部のヒシ繁茂域内の地点ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④の濃度(平均値)は、それぞれ5.7、7.5、4.7 mg/gでヒシ②が最も高く、対照比はそれぞれ110%、132%、134%で対照地点と比較して高い傾向が見られた(2013年の調査区①、②についても同傾向)。湖内西部の地点ヒシ③の濃度(平均値)は、5.8

mg/g で対照地点と同程度であった。また、本調査結果と 2013 年の調査結果を比較すると、対照地点では変化が見られないが、ヒシ②、ヒシ④では 2013 年比で濃度の増加傾向が見られた(2013 年比 ヒシ②111%、ヒシ④138%)。また、ヒシ②付近で信州大学が実施した調査(2019 年)においても同様の増加傾向が確認されている(2012 年比 1.5 倍)。なお、ヒシ①、ヒシ②付近のヒシ繁茂域内の地点 13、地点 10(沿岸域実態把握)¹⁾の 2018 年の濃度は、それぞれ 5.6、7.5 mg/g であり本調査結果と同程度の値であった。

一方、クロモ帯等について、クロモ繁茂域内の地点クロモ⑤、クロモ⑥の濃度(平均値)は、それぞれ 2.8、3.9 mg/g、対照比 63%、65%であり、対照地点と比較して低い傾向が見られた。また、クロモ⑤の経年変化について、同一地点である覆砂場所モニタリング調査・地点⑥の調査結果(3.2.3.2.項 参照)から、2016 年から 2020 年まで 2.6~3.4 mg/g の範囲で推移し、やや減少傾向が見られている。また、クロモ、ヒロハノエビモ、ササバモ、セキシウモ等が繁茂する自然植生区⑦の濃度(平均値)は 0.34 mg/g であり、対照地点より顕著に低い値であった(対照比 5%)。

水生植物帯別に底質濃度の範囲を見ると、ヒシ帯 4.7~7.5 mg/g、クロモ帯 2.8~3.9 mg/g、自然植生区 0.34 mg/g であり、クロモ帯よりヒシ帯の方が濃度が高い傾向であった。

季節変動について、ヒシ繁茂域内の地点(ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④、地点 10、13)においては、春期より秋期の方が濃度が高く、2013 年も同様の傾向が見られており、ヒシの枯死・堆積による影響が考えられる。また、春期より秋期の方が濃度が高い傾向は、クロモ⑤、ヒシ③対照、ヒシ⑦対照、地点 19(沿岸域実態把握)においても見られた。

底質の鉛直方向(0-10 cm)の全窒素含有量の測定結果を図 6 に示す。

全般的に底泥の表層付近で季節変動が見られ、ヒシ帯(ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④)では春期に鉛直方向の変化が小さく、秋期に表層 0-2cm で濃度が高くなる傾向が見られたが、対照地点では季節変動が見られず鉛直方向に概ね一定値であった。上述したヒシの枯死・堆積の影響が底泥表層 0-2cm に現れていると考えられる。なお、ヒシ③では傾向が異なり、深さ方向に 4cm 以深で低下する変化が見られ、春期より秋期の方が濃度が低かった。

クロモ帯等について、クロモ⑤では秋期の方が、クロモ⑥では春期の方が表層付近の濃度が高く、季節変動に一定の傾向は確認されなかった。自然植生区⑦では、鉛直方向に低濃度で概ね一定値であった。その他変化があった地点は、ヒシ③対照、自然植生区⑦対照で、表層付近(0-2 cm 又は 0-4 cm)で春期より秋期の方が濃度が高い傾向が見られた。

間隙水の全窒素及び各態窒素の測定結果を図 7 に示す。各態窒素について、NO₃-N 濃度は直上水で 0.05 未満~0.58 mg/L、底泥間隙水で概ね 0.05 mg/L 未満、NO₂-N 濃度は全試料で 0.03 mg/L 以下であり、間隙水の無機態窒素の形態は NH₄-N が主であったため NH₄-N の値のみ図中に示す。自然植生区⑦は、底泥を深度別に分画する過程で砂質のため間隙水が底泥コアから抜けてしまい採取できなかったため欠測とした(りんについても同様に欠測)。

間隙水中の窒素成分の構成について、全窒素に占める無機態窒素の比率は全サンプル平均で 55%、このうち概ね 95%以上がアンモニア性窒素の形態であり、また有機体窒素の比率は 45%であった。間隙水の窒素濃度の鉛直分布は、アンモニア性窒素と全窒素は概ね類似の深度パターンを示し、季節変動が顕著に見られ、全般に底泥深さ方向に濃度が高くなる傾向が見られた(地点別の最大濃度：NH₄-N 0.54~4.6 mg/L、T-N 1.8~6.3 mg/L)。一部の地点(ヒシ③、クロモ⑥、⑥対照)では、春期に表層下 4-6cm で濃度のピーク形成が見られた。

季節変動について、春期の方が濃度が高い地点はヒシ②、②対照、④対照、クロモ⑤、⑤対照、

クロモ⑥、⑥対照で、秋季の方が濃度が高い地点はヒシ①、③対照であり、他の地点では顕著な変化は見られなかった。対照地点と比較して、水生植物繁茂域内の方が濃度が高い傾向が見られた地点は、ヒシ①秋期、ヒシ③春期、ヒシ④秋期、クロモ⑤秋期であった。他の地点では同程度、ヒシ③秋期のみ対照の方が高い傾向であった。このような間隙水濃度の傾向と後述する酸化還元電位(図 16)との関係について、全般的には間隙水濃度が高いサンプルで比較的 ORP 値が低い傾向が見られた。

また、底泥間隙水濃度と底泥から湖水への底泥溶出量の関係について、底泥表面付近の間隙水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の鉛直濃度勾配から Fick の拡散方程式を用いて今井ら(H27)³⁾の算出方法により $\text{NH}_4\text{-N}$ の底泥溶出フラックスを試算した(図 8)。試算した溶出フラックス値から、春期は多くの地点で 1~2 $\mu\text{gN}/\text{cm}^2/\text{day}$ 程度でヒシ④が最大の値 3.1 $\mu\text{gN}/\text{cm}^2/\text{day}$ であり、秋期は 0.5 程度以下の地点が多く 1.5~4 程度の地点がヒシ①、ヒシ④、ヒシ③対照(最大 3.9 $\mu\text{gN}/\text{cm}^2/\text{day}$)であった。対照と比較して、ヒシ帯ではヒシ④の春期及び秋期、ヒシ①の秋期で対照よりヒシ繁茂域内の方が溶出フラックスが高い傾向が見られた。季節変動は、多くの地点で春期の方が高い傾向が見られ、ヒシ①、ヒシ③対照では秋期の方が高い値であった。なお、当所実施の過去の調査研究(1980)⁴⁾による測定値(溶出試験)では、湖心で 1.5~3.6 $\mu\text{gN}/\text{cm}^2/\text{day}$ であった。今後、底泥溶出量の夏期を含む季節変動や湖内広域の実態について、定量的な把握が課題と考えられる。

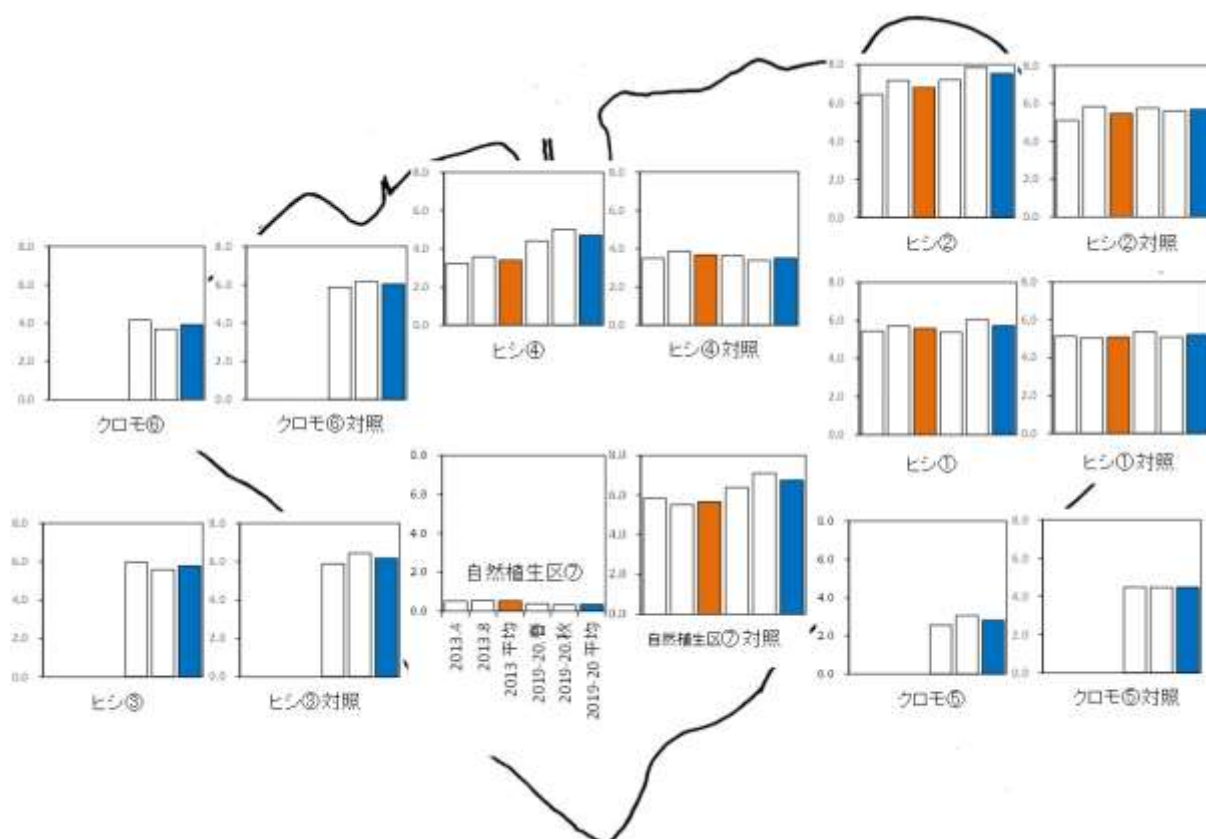


図 5 底質表層の全窒素【水生植物帯内外】

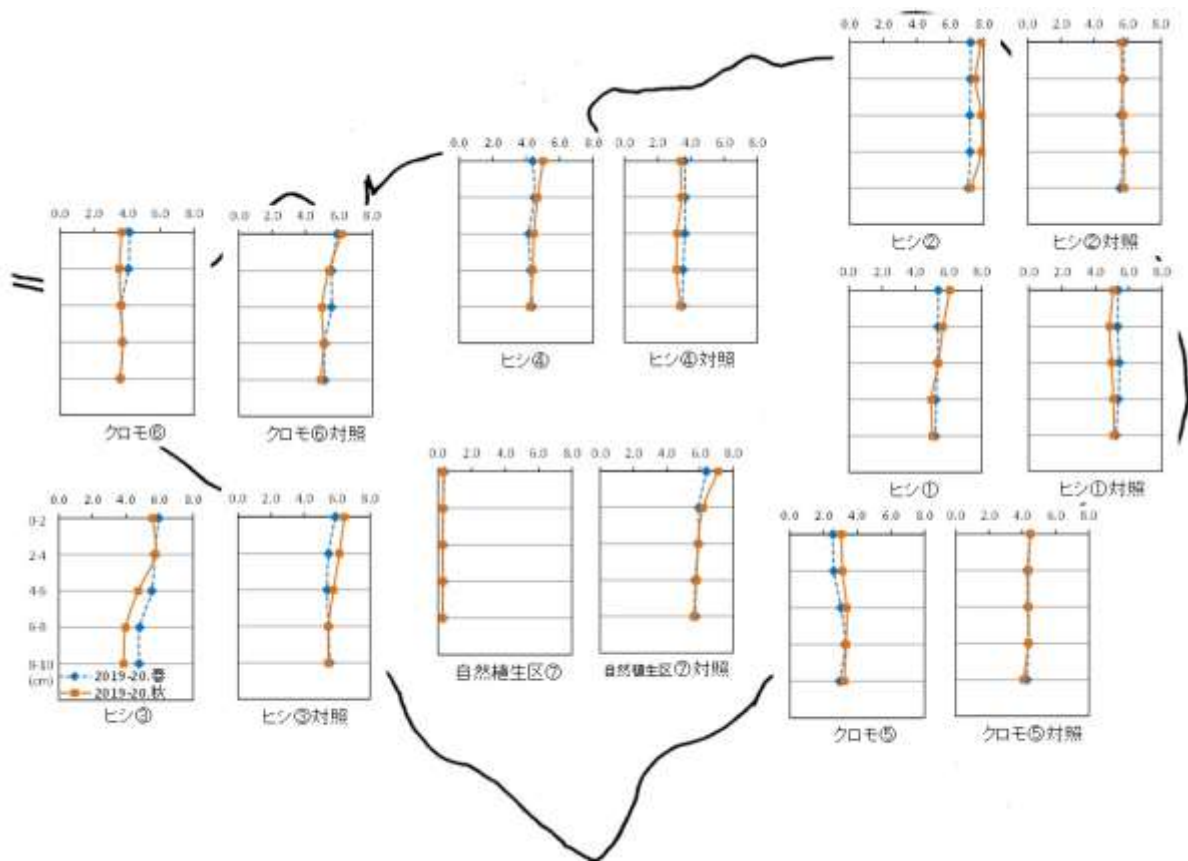


図6 底質の全窒素の鉛直分布【水生植物帯内外】

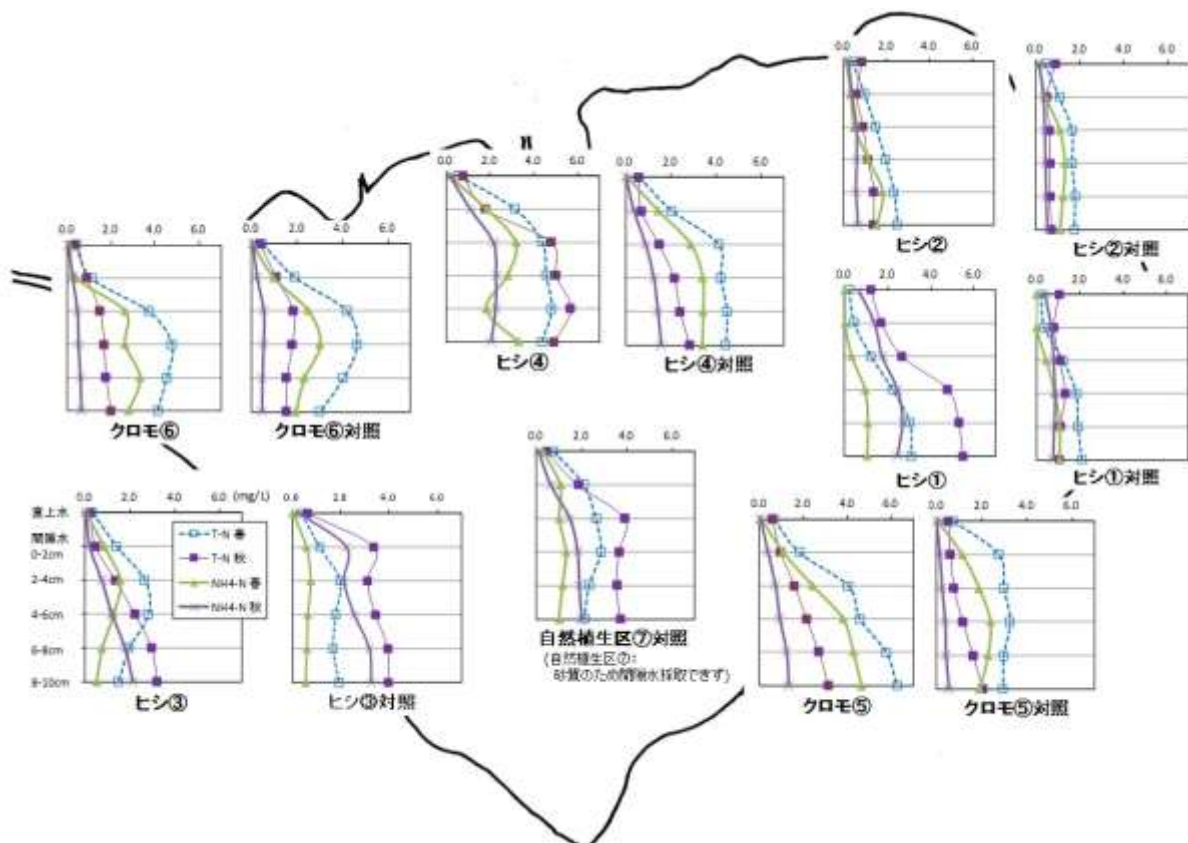


図7 間隙水の窒素の鉛直分布【水生植物帯の内外】

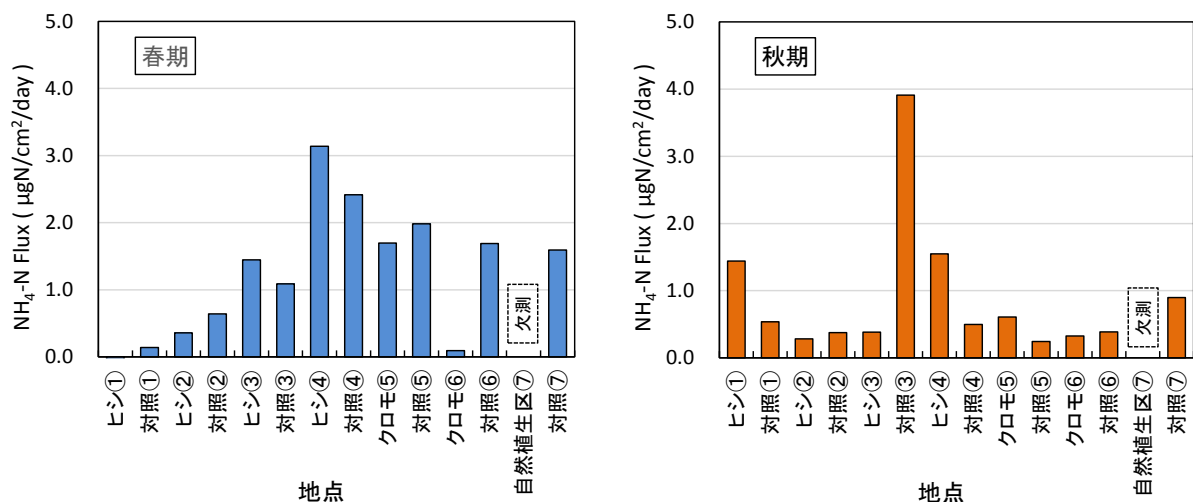


図8 NH₄-N の溶出フラックスの試算(左図：春期、右図：秋期)

< 強熱減量 >

底質表層(0-2 cm)の強熱減量の測定結果を図9に示す。

水生植物繁茂域内の地点と域外の対照地点を比較すると、ヒシ帯について、繁茂域内の地点ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④の値(平均値)は、それぞれ対照比 112%、116%、119%であり、対照地点より高い傾向が見られた(2013年の調査区①、②で同傾向)。ヒシ③の値は、対照地点と同程度であった。また、本調査結果と2013年の調査結果とを比較すると、対照地点では変化が見られないが、ヒシ①、ヒシ②で1割程度の微増、ヒシ④で3割程度の増加傾向が見られた。

一方、クロモ帯において、クロモ⑤、クロモ⑥の値(平均値)は、それぞれ対照比 74%、85%であり、対照地点と比較して低い傾向が見られた。また、過去の調査結果と比較すると、クロモ⑤と同一地点である覆砂場所モニタリング調査・地点⑥の値(平均値)は、2016年から2020年までやや減少傾向が見られている(3.2.3.2.項 参照)。なお、自然植生区⑦(クロモ、ヒロハノエビモ、ササバモ、セキショウモ等)では、対照地点より顕著に低い値であった(対照比 15%)。

水生植物帯別に値(平均値)を比較すると、ヒシ帯 14~18%、クロモ帯 11~13%、自然植生区 2.4%であり、クロモ帯よりヒシ帯の方が値が高い傾向であった。季節変動については、ヒシ①、ヒシ④、地点10(2018)、クロモ⑤で春期より秋期の方が値が高い傾向が見られた。

底質の鉛直方向(0-10 cm)の強熱減量の測定結果を図10に示す。

全般的に深度パターンは、概ね全窒素に類似した傾向が見られた。ヒシ帯(ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④)では、鉛直方向に変化が小さく、季節変動は見られなかった(対照地点も同様)。ヒシ③では深さ方向に変化が見られ(4cm以深で減少)、春期より秋期の方が値が低かった。

クロモ帯等について、クロモ⑤では表層付近で春期より秋期の方が値が高く、クロモ⑥では鉛直方向に変化が小さかった。自然植生区⑦では、鉛直方向に概ね一定値であった。その他変化があった地点は、ヒシ③対照、クロモ⑥対照、自然植生区⑦対照で、表層付近(0-2 cm)で春期より秋期の方が値が高い傾向が見られた。

以上の調査結果から、強熱減量は全窒素と類似した傾向を全般に示していた(対照比、2013年比等の変化率は全窒素より小さい)。

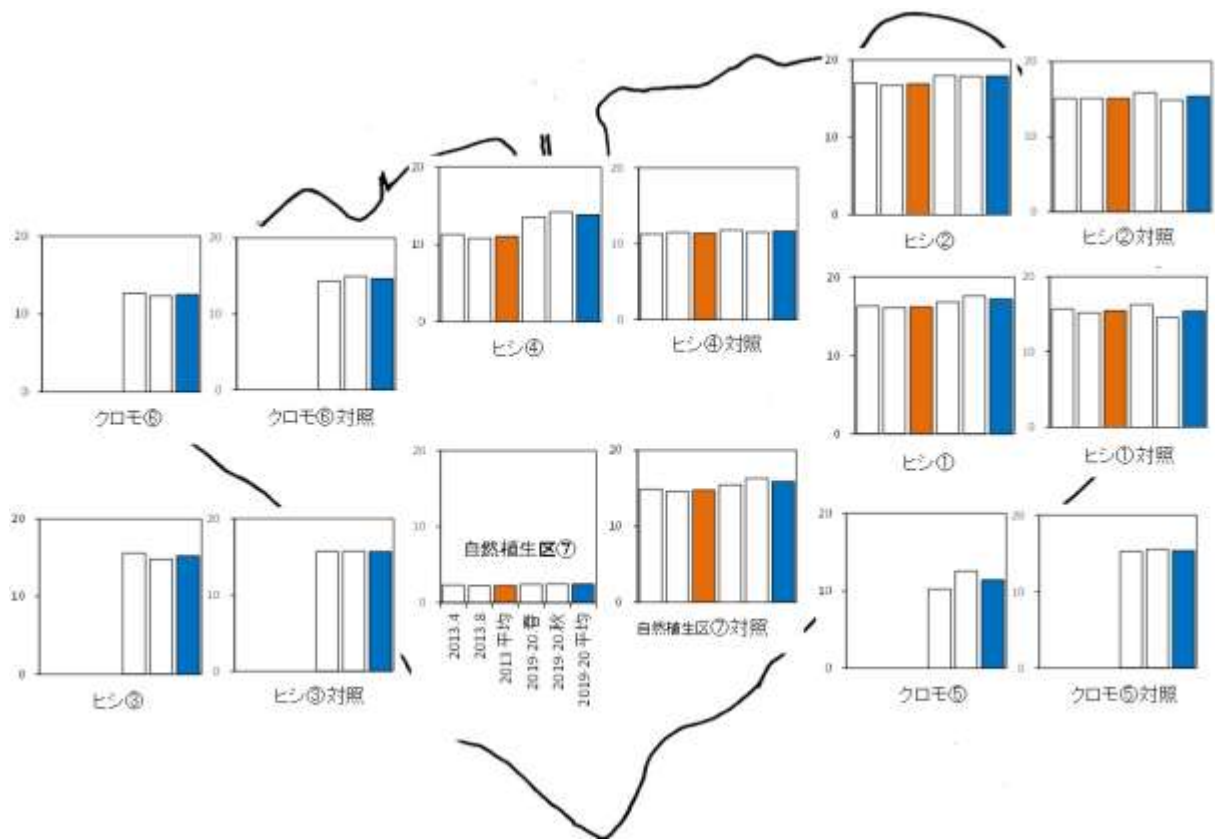


図9 底質表層の強熱減量【水生植物帯内外】

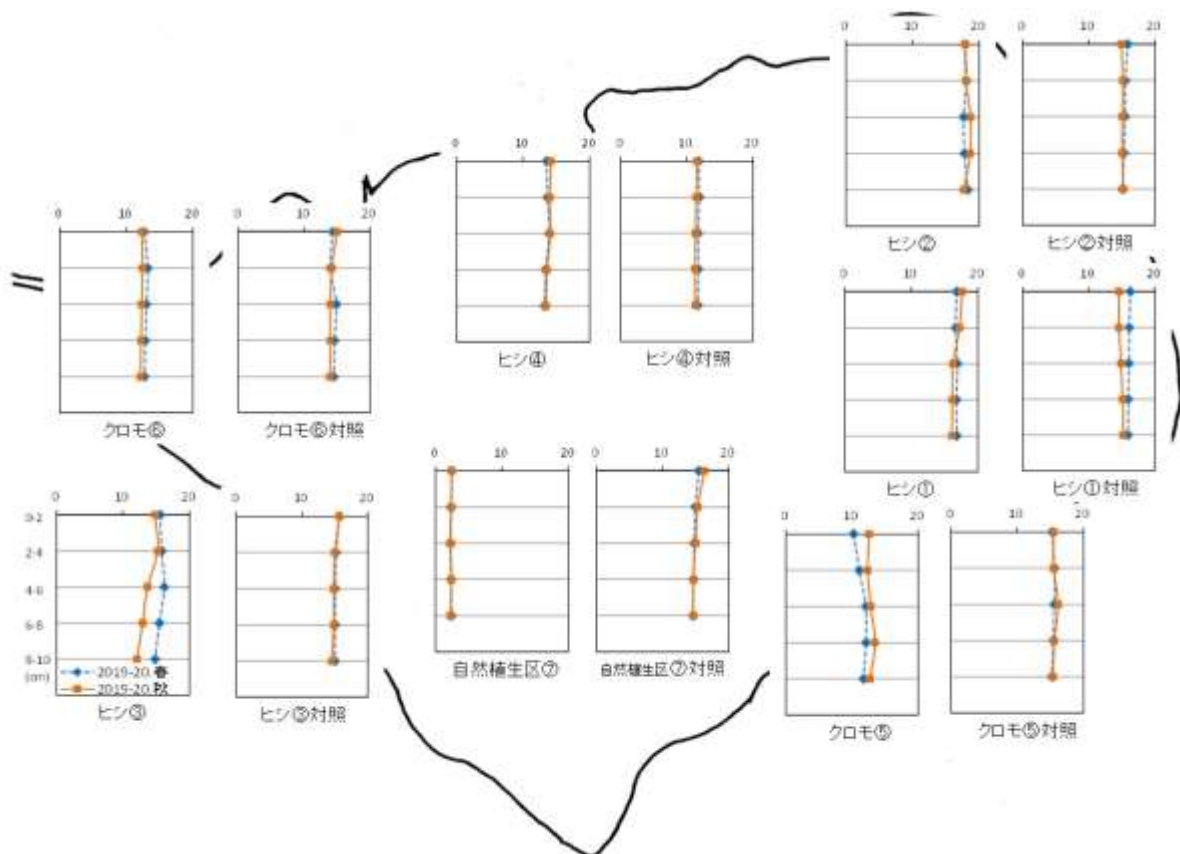


図10 底質の強熱減量の鉛直分布【水生植物帯内外】

<りん>

底質表層(0-2 cm)の全りん含有量の測定結果を図 11 に示す。

水生植物繁茂域内の地点と域外の対照地点を比較すると、ヒシ帯について、ヒシ①、ヒシ④の濃度(平均値)は、対照比でそれぞれ 108%、109%であり、対照地点と同程度又はやや高い傾向であった。ヒシ②の濃度は対照地点より低い値であったが(対照比 69%)、対照とした②対照の濃度は、同じ東部の①対照より顕著に高く、また②対照に近接する地点 22 の濃度(2.2-2.4 mg/g、沿岸域実態把握調査で最も濃度が高い)と同程度であり、調査地点由来の濃度差が現れている可能性が考えられる(2013 年も同様の傾向が見られている)。また、ヒシ③においては、対照比 71%であり、後述する粒度分布の測定結果から調査地点間の粒径の違い(ヒシ③の方が粒径が大きい)が影響していると考えられる。本調査結果と 2013 年の調査結果とを比較すると、繁茂域内、対照地点ともに同程度であり、変化は見られなかった。

クロモ帯について、クロモ⑤、クロモ⑥の濃度(平均値)は、それぞれ対照比 74%、71%であり、対照地点と比較して低い傾向が見られた。また、過去の調査結果と比較すると、クロモ⑤と同一地点である覆砂場所モニタリング調査・地点⑥の濃度(平均値)は、2016 年から 2020 年までやや減少傾向が見られている(3.2.3.2.項 参照)。なお、自然植生区⑦(クロモ、ヒロハノエビモ、ササバモ、セキショウモ等)では、対照地点より低い濃度であり(対照比 61%)、2013 年比では 2 倍程度の値であった。

水生植物帯別に底質濃度(平均値)を比較すると、ヒシ帯 1.2~1.9 mg/g、クロモ帯 1.0~1.2 mg/g、自然植生区 1.1 mg/g であり、クロモ帯よりヒシ帯の方が濃度が高い傾向であった(クロモ帯と自然植生区は同程度)。季節変動について、ヒシ繁茂域内では変動は見られず、ヒシ②対照、クロモ⑤で春期より秋期の方が濃度が高い傾向が見られた。

底質の鉛直方向(0-10 cm)の全りん含有量の測定結果を図 12 に示す。

調査地点全般について、鉛直方向に変化が小さく、概ね一定値であった。ヒシ帯では鉛直方向の変化や季節変動は見られず、ヒシ②対照で春<秋の季節変動が見られた(間隙水濃度 春>秋)。また、クロモ⑤では表層付近で春期より秋期の方が濃度が高かった。

間隙水の全りん及びりん酸態りんの測定結果を図 13 に示す(自然植生区⑦欠測)。

間隙水中のりん成分の構成について、全りに占めるりん酸態りんの比率は全サンプル平均で 52%であり、表層 0-2cm 付近(深い層より酸化還元電位が高い)では低い比率であった(平均 26%)。間隙水のりん濃度の鉛直分布は、水草帯と対照の深度パターンは類似傾向で、りん酸態りんと全りんは概ね深度パターンが一致しており、季節変動が顕著に見られた(地点別の最大濃度：PO₄-P 0.014~0.25 mg/L、T-P 0.043~0.31 mg/L)。

季節変動について、春期は調査区②、④、⑥、⑦では表層下 2-6cm で濃度のピーク形成が見られ、調査区①、③、⑤では鉛直方向に変化が小さかった。秋季は深度方向に概ね濃度が増加傾向であった。春期の方が濃度が高い地点はヒシ②、②対照、ヒシ④で、秋季の方が濃度が高い地点はヒシ①、①対照、ヒシ③、③対照、クロモ⑤、⑤対照であり、他の地点では季節変動は見られなかった。

また、水生植物繁茂域内のヒシ④の春期では、表層 0-2cm のりん濃度が対照や他の地点と比較して高く、りん酸態りんの底泥表層付近での鉛直濃度勾配から窒素項目と同様に PO₄-P の溶出フラックスを試算すると 0.04 µgP/cm²/day であり、他のサンプルは 0.01 µgP/cm²/day 程度以下であった(窒素についても春期はヒシ④が最大値)。

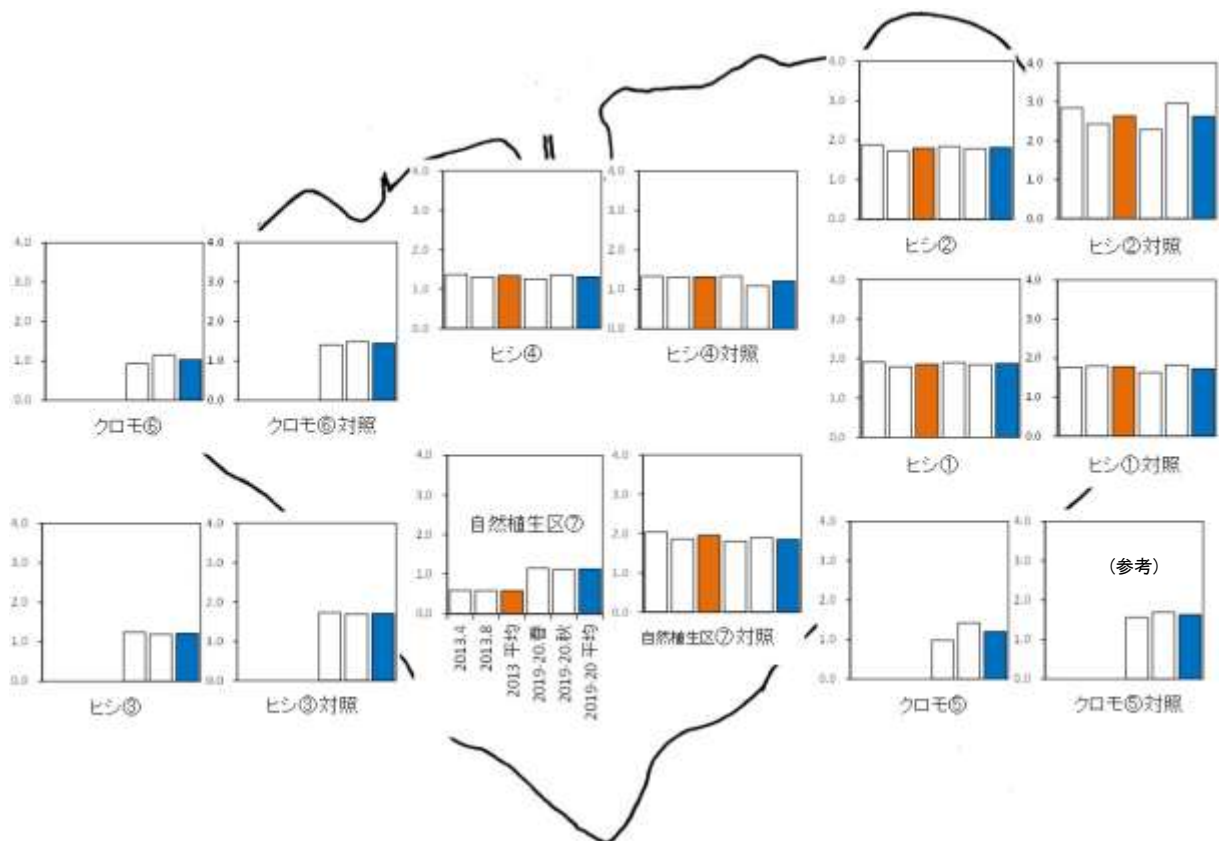


図 11 底質表層の全リン【水生植物帯内外】

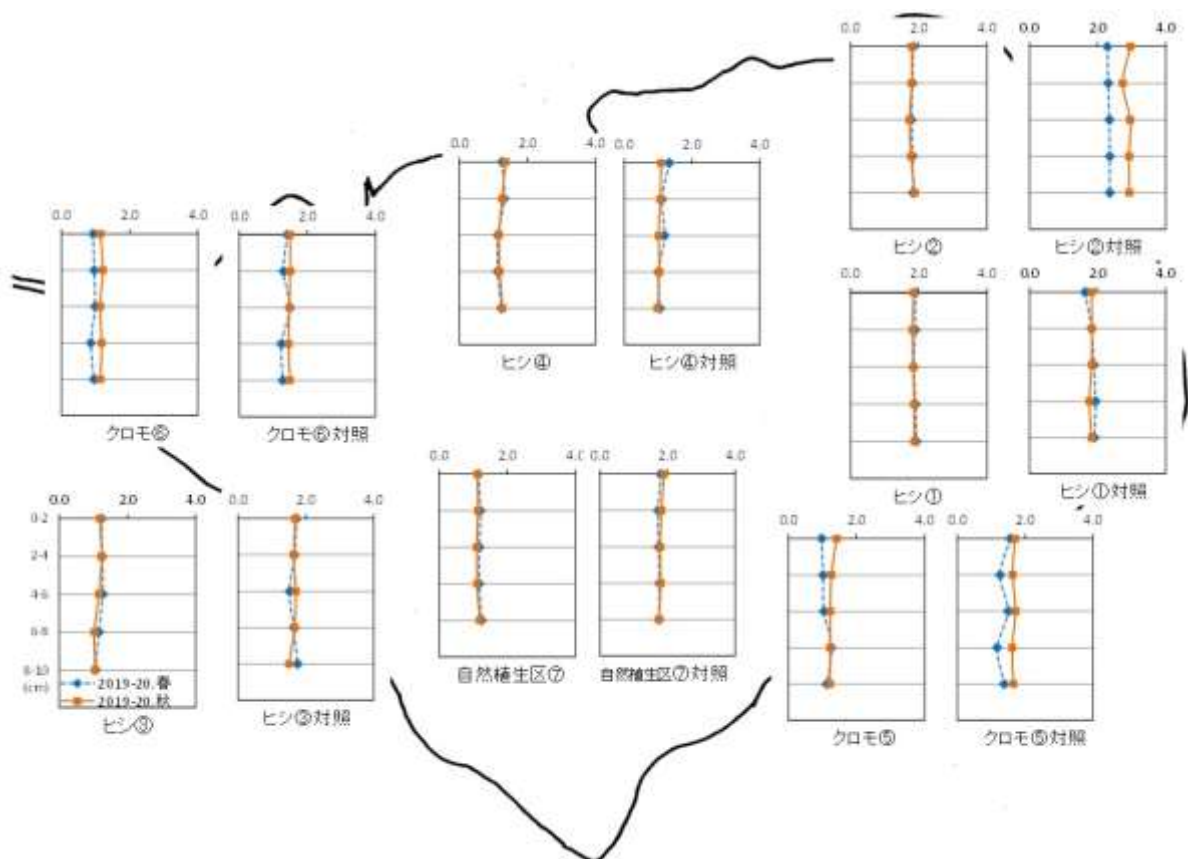


図 12 底質の全リンの鉛直分布【水生植物帯内外】

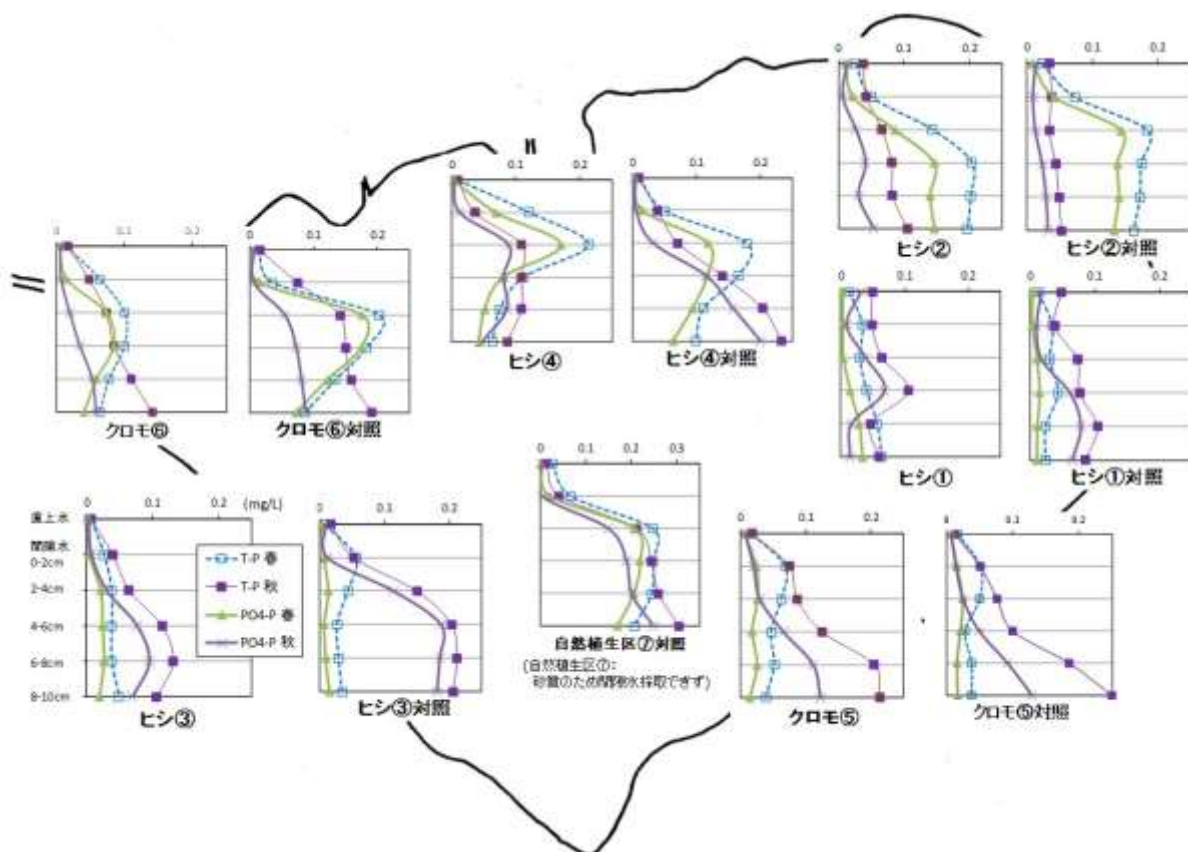


図 13 間隙水のりんの鉛直分布【水生植物帯内外】

< 粒度分布 >

底質の粒度分布の測定結果を図 14 に示す。

粒度分布の地点ごとの特徴について、ヒシ①及びヒシ②(東部ヒシ繁茂域)では泥分率※が高く(84～94%)、ヒシ④、クロモ⑤、クロモ⑥(北西部、上川河口域)では泥分率がやや高く(66～74%)、ヒシ③(西部、沿岸に近接)では泥分率が 34%(砂分 62%)、自然植生区⑦では泥分率が 1%(砂分 92%)であった。また、水生植物帯別に見ると、泥分率の範囲はヒシ帯で 35～95%程度、クロモ帯で 65～75%程度、自然植生区(クロモ、ヒロハノエビモ、ササバモ、セキシウモ等)で 1%程度であった。なお、対照地点ではいずれも泥分率が 80%以上であった。

水生植物繁茂域内の地点と域外の対照地点を比較すると(図 15)、クロモ⑤、クロモ⑥では対照地点より泥分率が低い傾向が見られた(それぞれ対照比 15%低下、20%低下)。ヒシ帯(ヒシ③除く)では概ね同程度であった。自然植生区⑦は対照地点より顕著に砂分が多かった。なお、ヒシ③では、対照地点と粒径分布の傾向が顕著に異なっており、地点由来の差と推察される。

粒径と水生植物体との関係は、全般的な傾向として、ヒシ繁茂域は泥分率が比較的高い傾向(35-95%)にあり、クロモ繁茂域(自然植生区含む)は比較的低い傾向(1-75%)であった。

※泥分率：シルト・粘土分(粒子径 <75 μ m)の割合

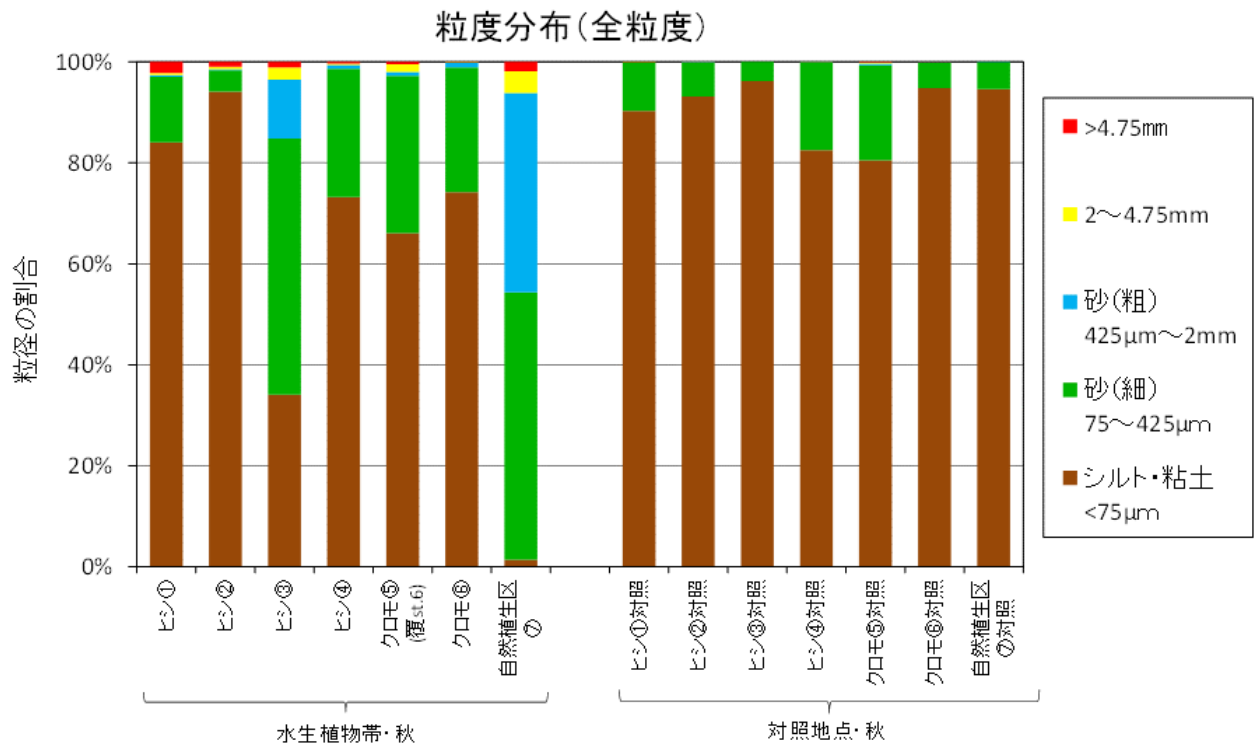


図 14 底質の粒度分布の測定結果【水生植物帯内外の比較】

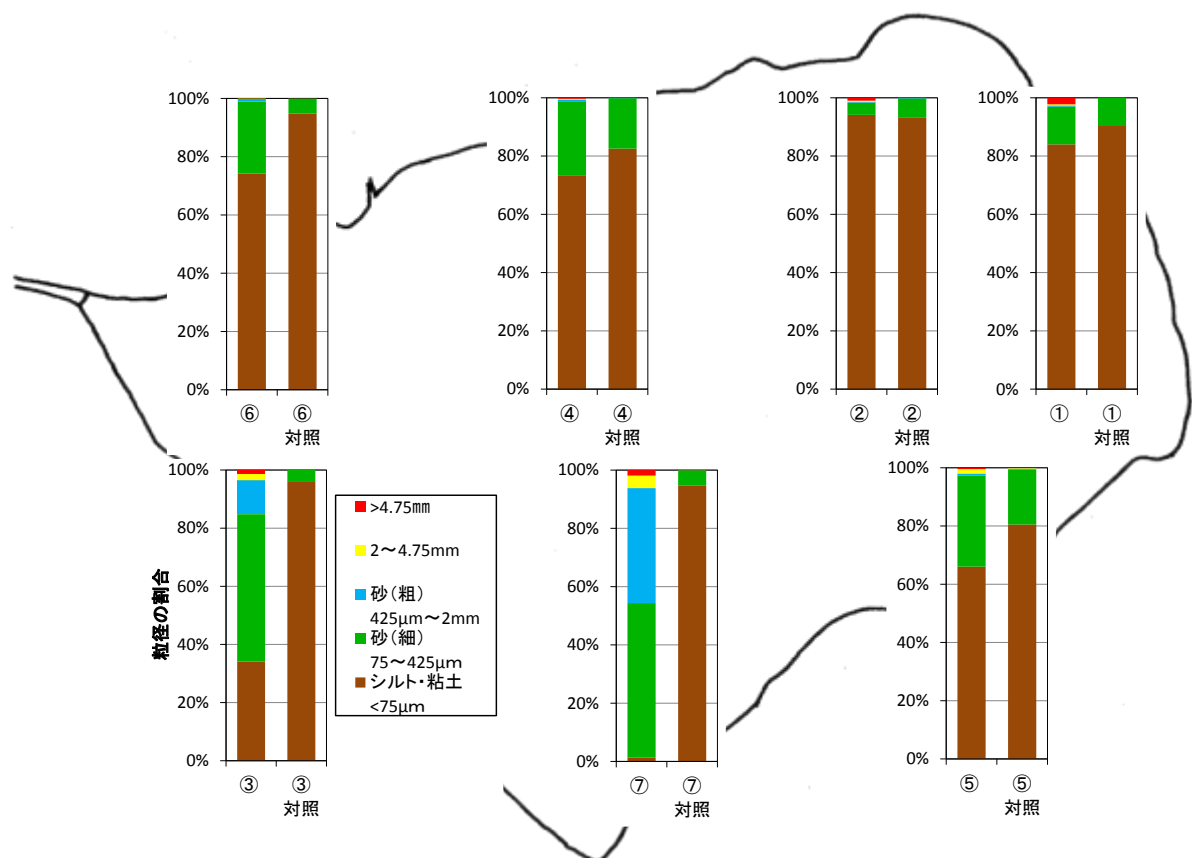


図 15 調査区別の粒度分布比較【水生植物帯内外の比較】

<酸化還元電位(ORP)>

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 2020 年の調査時に試行的に実施した。測定方法について、土壌用 Eh 計(榊原製作所 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 16 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 ~100 mv 程度で還元的な状態であった。

季節変動について、ヒシ③、ヒシ④対照では春期の方が低い傾向が見られ、自然植生区⑦では秋期の方が低い値であった。また、春期はヒシ③、ヒシ④の方がクロモ⑤、クロモ⑥より低い傾向で、秋期はヒシ④で対照より低い傾向が見られた。自然植生区⑦は全般に Eh 200~400 mv 程度であり、対照や他の地点より酸化的な状態であったと考えられる。

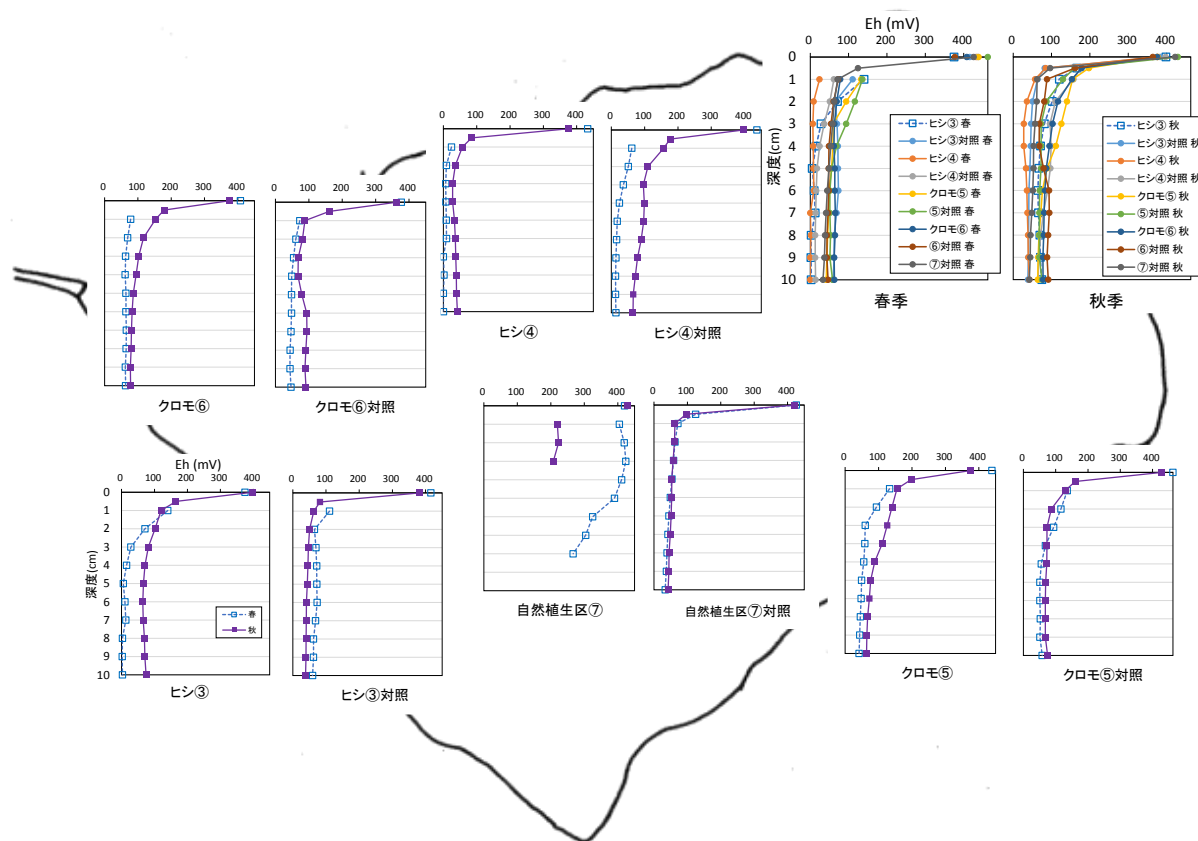


図 16 底泥鉛直方向の酸化還元電位(Eh 表示, mv) 【水生植物帯内外】

<考察>

水生植物繁茂域内外の鉛直方向の底質含有量等を把握・比較し、水生植物と底質性状との関係を検討した。

【ヒシ帯】では、湖内東部及び北部のヒシ帯(ヒシ①、ヒシ②、ヒシ④)において、全窒素含有量は対照地点と比較して高い傾向(対照比 1~3 割増加)が見られ、またヒシ繁茂域内では 2013 年比で 1~4 割増加していた。季節変動は、底質表層(0-2cm)で春期より秋期の方が濃度が高い傾向が見られた。(ヒシ③：対照比同程度)また、有機物量の目安となる強熱減量(IL)は全窒素と類似の傾向を示していた。さらに、沿岸域の底質把握調査地点 10、13(ヒシ繁茂域内)において 1980 年比で増加している傾向²⁾を踏まえ、これらの調査結果から、ヒシ繁茂域内では全窒素含有量が過去比(1980、2013)及び対照比で増加している傾向が把握された。この要因として、栄養塩類を固定化したヒシの枯死、底泥表層への堆積による影響(栄養塩類、有機物含有量の増加)が考えられた。

全りん含有量については、ヒシ①、ヒシ④では対照比、2013 年比で同程度であり、ヒシ②、ヒシ③では傾向が異なり対照地点より低い傾向であった。ヒシ②と対照は地点由来の底質濃度の差が影響していると推測され、ヒシ③(西部)と対照は粒度分布の顕著な違い(対照より粒径が大きい)が影響している可能性が考えられた。

【クロモ帯】では、全窒素含有量が対照比 4 割低く(IL 2 割低く)、全りん含有量が対照比 3 割低く、クロモ繁茂域内の方が栄養塩類濃度が低い傾向が確認・把握された。また、自然植生区内では全窒素、強熱減量、全りんが顕著に濃度が低く、対照比で全窒素が 9 割低く(IL 8 割低く)、全りんが 4 割低かった。また、クロモ繁茂域内の地点における直近 5 年間の経年変化では、栄養塩類含有量等がやや減少している傾向が見られた。このようにクロモ繁茂域内の調査地点において、栄養塩類含有量等が対照地点やヒシ帯より低い傾向が見られたが、クロモ帯の底質粒度分布から泥分率が比較的小さい傾向にあること、ヒシが繁茂していない場所(比較的低含有量)に分布していることなどが要因の一つとして考えられた。なお、クロモの繁茂面積は H28 年頃から急激に増加し R2 年に最大となっている(H27 4ha→R2 68ha、第 7 章参照)。今後も継続的に調査を実施し、クロモ繁茂域での底質性状の推移・変化を把握していきたい。

粒度分布と水生植物帯の関係については、全般的な特徴として、ヒシ繁茂域では泥分率が比較的高い傾向(35-95%)にあり、クロモ繁茂域(自然植生区含む)では比較的低い傾向(1-75%)であることが把握された。

また、底泥 ORP 測定により底泥鉛直方向の酸化還元状態の傾向が把握され、間隙水濃度、溶出フラックスとの関係について参考となるデータが得られたが、酸化還元状態と間隙水濃度パターン等との関係を把握するためには、これらの測定データの蓄積と酸化還元電位の定量的な測定が今後の課題と考えられる。

2018 年の沿岸域実態把握調査の成果を踏まえ、本調査において重点的に実施した水生植物帯の調査結果から底質性状(栄養塩類含有量、粒度分布の特徴等)の実態が明らかになり、水生植物と底質性状との関係が把握された。湖内水質の全窒素はこれまでの水質浄化対策により長期的には改善傾向、近年横ばいで推移しているが、本調査結果から、ヒシ帯(東部及び北部)の底質全窒素濃度は上昇傾向にあることから、今後の湖沼環境改善対策を検討する上では、底質環境の観点から、ヒシ帯における底質改善対策が必要と考えられる。

8.3.1.2. 過去のシジミの生息域の実態把握

過去にシジミの生息域であった3調査地点（湊、十四瀬川河口、砥川東：各水深2m程度）について、現在の底質表層の実態を調査した。調査結果を表6、図17に示す。

栄養塩類、有機物及び硫黄含有量について、各調査地点[湊、十四瀬川河口、砥川東]の2期(春期、秋期)の平均値は、全窒素5.6、4.2、0.68 mg/g、全りん1.6、1.5、0.67mg/g、強熱減量16%、15%、3.8%、全硫化物0.89、0.79、0.20 mg/gであり、砥川東の濃度が他の2地点より顕著に低かった。粒度分布について、砥川東の泥分率(75 μ m以下のシルト・粘土分の割合)は10%程度であり、他の2地点の泥分率：60～70%程度より顕著に低かった。また、砥川東では採泥時にシジミ、カラス貝、タニシが確認された。

また、他の調査(沿岸域底質把握、水生植物帯等)における地点と比較しても砥川東の底質は低濃度であり、自然植生区⑦(8.3.1.1.項 参照)や覆砂試験区(洪崎区、湖岸通り区：第3章覆砂場所モニタリング調査3.2.3.項 参照)と同程度の濃度レベルであった(全硫化物除く)。

表6 底質表層の全窒素、全りん、強熱減量及び全硫化物の測定結果

地点名	採泥日	全窒素 (mg/g)	全りん (mg/g)	強熱減量 (%)	全硫化物 (mg/g)
湊	2018年12月	5.7	1.6	17	0.93
	2019年5月	5.4	1.6	15	0.84
十四瀬川 (河口)	2018年12月	4.4	1.5	15	0.63
	2019年5月	4.0	1.5	15	0.95
砥川東	2019年12月	0.65	0.62	3.8	0.13
	2019年3月	0.70	0.71	3.9	0.28

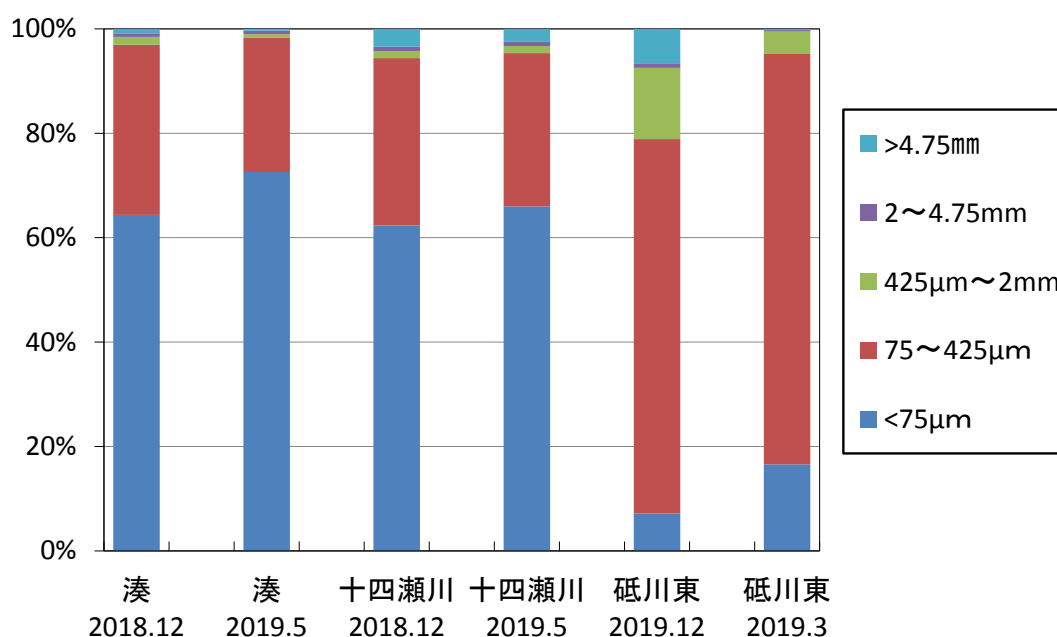


図17 底質の粒度分布の測定結果

8.3.2. 底質酸素消費速度調査

測定結果を表 7、図 18 に示す。測定時の DO 経時変化図(図 19)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 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。

R2 年度調査は、沖合等の湖内実態を把握するため、沖合 5 地点、上川河口域 2 地点で調査を実施した。夏期の調査結果について、沖合 5 地点(D 地点、B 地点、信大③南西、湖心、初島西)の SOD は各地点毎の平均値で $0.90 \sim 1.02 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 、5 地点平均 $0.95 \text{ g/m}^2/\text{d}$ であり、地点間の差は小さかった。上川河口域 2 地点は $0.77 \sim 0.78 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (2 地点平均 $0.78 \text{ g/m}^2/\text{d}$)であり、沖合の方が SOD がやや高い傾向が見られ、R1 年度調査においても同様の傾向が確認されている。また、SOD $1.0 \text{ g/m}^2/\text{d}$ を示した R2 湖心・夏期の底泥コアサンプルによる底層水の酸素消費の程度について、本測定条件下(20°C 、酸素供給無し)では、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($<3 \text{ mg/L}$)になることが確認された(図 19)。

年変動について、湖心・夏期の R1 と R2 の値に差が見られた($2019.9.3 : 1.7 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 、 $2020.9.1 : 1.0 \text{ g/m}^2/\text{d}$)。R1 は現地(湖心)において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、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。

強熱減量(IL)(底泥表層 0-1cm)と SOD の関係を図 20 に示す。IL は、沖合 12~16%、上川河口域(泥)10~12%、上川河口域(砂)1.9~2.7%であり、SOD がやや高い傾向であった沖合の地点の方が IL が高く、データ数が十分ではないが IL(底泥表層に含まれる有機物含量)と SOD 値に正の相関が見られた(付着藻類(R1 上川河口域①・夏)を除外して評価)。

上川河口域の調査について、夏期の地点③(覆砂試験区)の SOD は平均 $0.78 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 、地点⑥(覆砂対照区)は平均 $0.77 \text{ g/m}^2/\text{d}$ であり、調査地点間の差は見られなかった。一方で、第 3 章覆砂場所モニタリング調査(底質調査)のとおり両地点の底質性状は顕著に異なり、試験区③が砂質で有機物量が少なく(IL 1.9%)、対照区⑥が砂泥質で IL 10%であり、また試験区③では全サンプルの底泥コア表面が付着藻類に覆われていた。R1 調査では夏期に試験区で付着藻類の影響が大きかったことから、R2 年度の両調査地点の SOD 値は同程度であったが、底質性状の違いや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影響している可能性が考えられる。また、秋期について、試験区③の SOD は平均 $0.81 \text{ g/m}^2/\text{d}$ であり、対照区⑥の平均値 $1.1 \text{ g/m}^2/\text{d}$ より小さい値となった(③IL 2.3%、⑥IL 12%)。覆砂した試験区の SOD の方が小さい傾向は、R1 年度の秋期の調査においても同様に見られている。なお、③は並行試験のバラつきが大きく(CV 35%, $n=5$)、付着藻類に覆われていた 2 サンプルを除外して評価した。2 期の調査から SOD の季節変動が見られ、全般には R1 夏>秋、R2 夏<秋で一定の傾向は見られなかった(R1 洪崎区、R2 湖岸通り区)。なお、本測定(室内培養試験)は暗条件下で行っているが、現場環境を評価する場合には、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測定値のバラつきについて、全地点で底泥コア 5 本の並行試験により測定値の変動係数を確認した。R2 の変動係数は 8.9~29%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 7 底泥酸素消費速度測定結果 (並行試験数: n=5)

(g/m²/day)

試料名	採泥日	最小値	最大値	平均値	CV(%)	水温 ^{※1} (°C)	強熱 ^{※2} 減量(%)
D地点・夏期	2020/8/4	0.71	1.25	0.90	23%	16.2	13
B地点・夏期	2020/8/12	0.89	1.11	0.96	9.4%	16.9	16
信大③(南西)・夏期	2020/8/18	0.89	1.10	0.96	9.1%	17.4	15
湖心・夏期	2020/9/1	0.94	1.16	1.02	8.9%	18.8	14
初島西・夏期	2020/9/8	0.83	1.02	0.93	9.3%	24.0	16
上川河口域(泥)⑥・夏期	2020/7/15	0.68	0.86	0.77	8.9%	17.0	10
上川河口域(砂)③・夏期	2020/7/29	0.68	0.92	0.78	12%	23.2	1.9
上川河口域(泥)⑥・秋期	2020/10/27	0.89	1.24	1.10	14%	13.4	12
上川河口域(砂)③・秋期	2020/10/14	0.66	1.08	0.81	29%	17.2	2.3

*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 0-1 cm の測定値

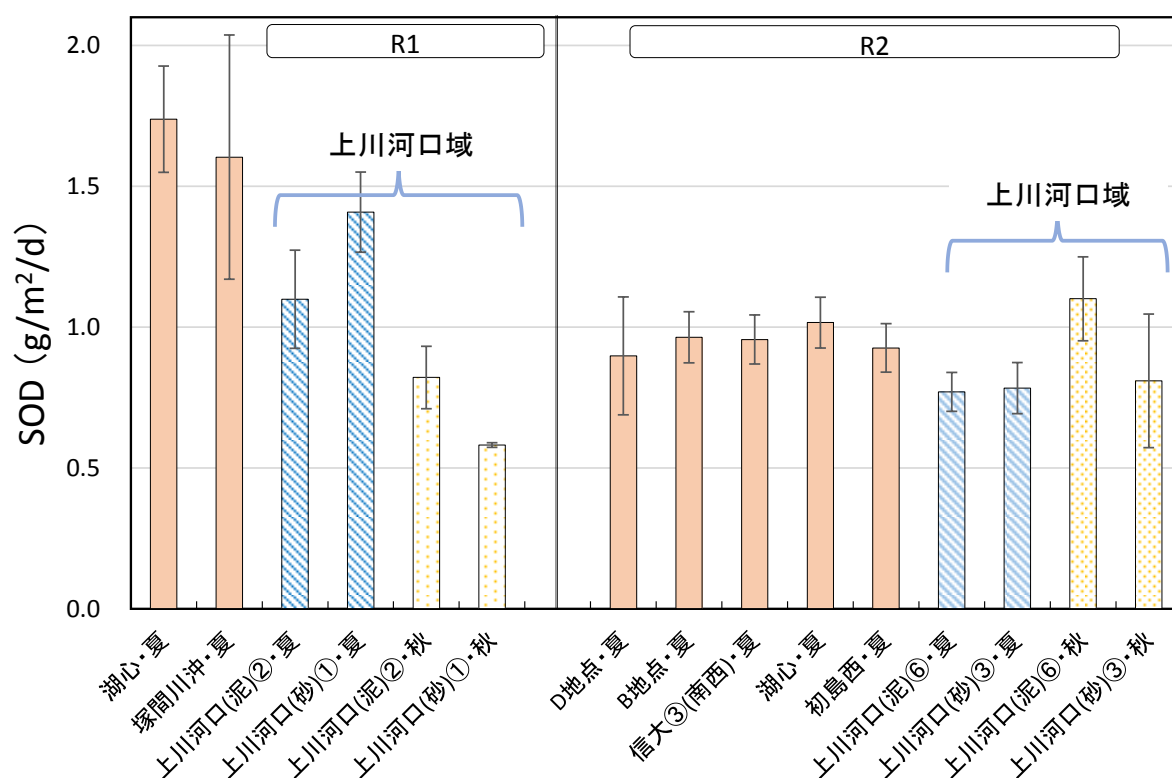


図 18 底泥酸素消費速度 測定結果
(R1 測定結果含む、エラーバーは標準偏差を示す)

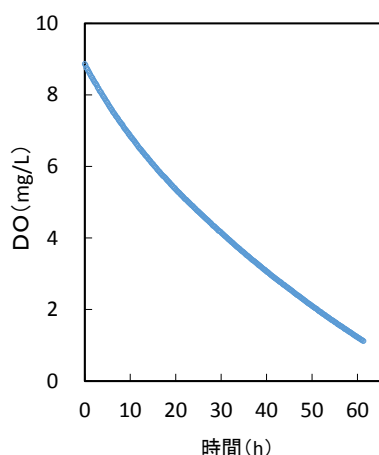


図 19 直上水 DO 経時変化(酸素消費曲線)
(R2 湖心・夏期、SOD 1.0 g/m²/d)

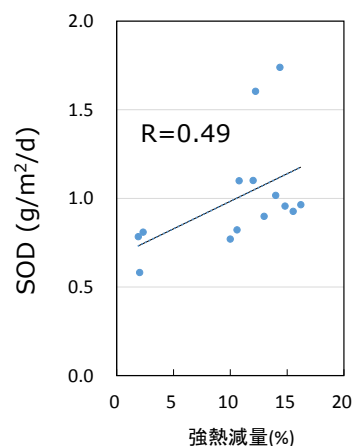


図 20 SOD と強熱減量の関係

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：8.3.1.1.項 参照)

R2 の測定結果(図 21)から、沖合や地点⑥の底泥表層 0～1cm 程度において、表層から深度方向に ORP が大きく低下していた(酸化還元境界層)。R2 の夏期・沖合の地点では深度方向全般に Eh 0～100 mv 程度で還元的な状態であり、一方、上川河口域(砂)③では表層付近で Eh 300～400 mv であり、沖合や st.⑥より酸化的な状態であったと考えられる。

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。

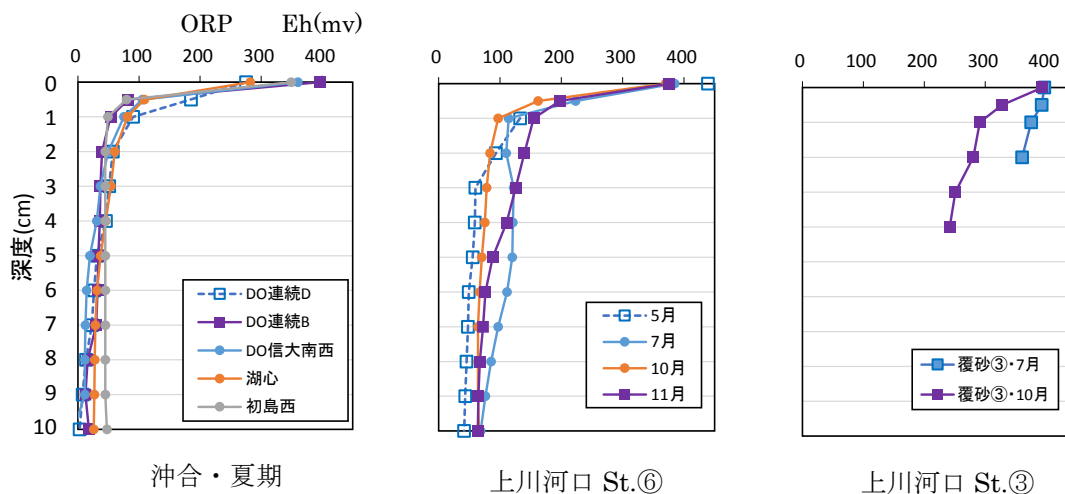


図 21 底泥の酸化還元電位(ORP)

8.4. まとめ

不攪乱柱状採泥による底質調査手法により、沿岸域等底質把握調査において、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。

2018 年の沿岸域実態把握調査の成果²⁾からは、諏訪湖における水質浄化対策の効果として、底質の全りん含有量は、40 年前と比較して湖内全般に一定程度の改善傾向が現れていることが明らかとなった(1980 年比約 4 割減少、鉛直方向一定)。一方、全窒素含有量は、多くの地点で同程度又は増加傾向にあることが確認され、東部では水生植物帯による影響が推察された。また水平分布の特徴として、北西部で濃度が低い傾向(P、N、IL、S)が把握された。

これを踏まえ、本調査において重点的に実施した水生植物帯の調査結果から、全窒素含有量は湖内東部及び北部のヒシ繁茂域内で増加傾向にある(対照比 1~3 割増、2013 年比 1~4 割増、1980 年比 5~6 割増)ことが明らかになり、この要因として栄養塩類を固定化したヒシの枯死・堆積による影響が考えられた。また、クロモ繁茂域内では対照と比較して栄養塩類濃度が低い傾向(全窒素 4 割、全りん 3 割低い)が見られ、自然植生区(クロモ、ヒロハノエビモ、ササバモ、セキショウモ等)ではさらに顕著に濃度が低い等、底質性状(栄養塩類含有量、粒度分布の特徴等)の実態が明らかになり、水生植物と底質性状との関係が把握された。

これらの調査結果から、これまでの水質浄化対策により湖内水質の全窒素が長期的には改善傾向(近年横ばい傾向)にあるが、ヒシ帯の全窒素含有量は上昇傾向にあることから、今後の湖内環境改善対策を検討する上で、ヒシ帯における底質改善対策の必要性が挙げられる。

また、過去のシジミの生息域における現在の底質性状の実態把握調査では、湊や十四瀬川河口の地点で現在泥質化(泥分率 60~70%)している現状が把握されたが、砥川東では栄養塩類、有機物等の濃度が他の地点より顕著に低く(自然植生区や覆砂試験区と同程度の濃度レベル)、砂泥質(泥分率 10%程度)で採泥時にシジミ等が確認された。本調査結果は、覆砂場所の適地選定等における基礎資料としての活用が見込まれる(底質改善効果、覆砂効果の持続性等の観点)。

底泥酸素消費速度調査(SOD)について、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 SOD の測定データの蓄積が不可欠であることから、本調査により、諏訪湖内の SOD の広域的な実態を初めて把握し、地点変動、季節変動、年変動が確認され、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。

底質環境に関する調査の今後の方向性について、本成果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、湖水に栄養塩と有機物を供給する底泥溶出の実態を定量的に把握するとともに、SOD の季節変動や水生植物帯の実態調査、測定の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予定である。

(引用文献)

- 1) 平成 25 年度湖沼自然浄化活用事業(長野県諏訪湖) 委託業務報告書(2013 年 11 月、長野県)
- 2) 令和元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)
- 3) 湖沼のブラックボックス負荷「底泥溶出」の定量評価に関する研究,国環研 今井章雄ら,H27 年度環境研究総合推進費終了成果報告書(5-1304)
- 4) 諏訪湖の富栄養化に関する研究(1982 年 3 月、長野県衛生公害研究所)

第9章 諏訪盆地の古環境変動史-堆積物コアの岩相-

環境保全研究所自然環境部

9.1. 目的

気候変動やそれによる植生遷移や土壌被覆の変化が諏訪湖やその周辺の自然環境に及ぼす影響を捉える上で、過去の環境変動の履歴は有用な基礎資料となる。諏訪盆地を埋積する堆積物には、この盆地が誕生して以降、過去数十万年間の古環境情報が記録されていることが期待できる。

本調査研究では、古環境のアーカイブとなる堆積物コアを諏訪湖南岸の陸上サイトで掘削した。本章では、このコアの岩相と堆積年代測定の結果を報告する。

9.2. コアの概要

コアの掘削地点は、諏訪湖南岸の豊田有賀（北緯 36°01'54"、東経 138°04'58"、標高 758.4 m）である（図 1）。本報告では、このコアを ST2020 コアと呼称する。ST2020 コアは、直径 66 mm、長さ 30.0 m であり、礫、砂、泥、亜炭といった堆積物から構成される。このコアの深度約 5 m 以浅は、人工的な盛土からなるため、本報告の記載からは省く。



図1 コア掘削地点

9.3. 研究内容・方法

9.3.1. コアの記載

掘削されたコアを金属製のワイヤーを用いて半裁し、その断面の粒度と土色を記載した。記載は、乾燥や変色、カビによる初生的な色の変化を避けるために、半裁した直後に行った。一次記載として 1/5 スケールの柱状図を作成し、これを基に 1/200 スケールの柱状図を作成した（図 2）。土色は、湿った状態の試料を対象にマンセル式標準土色帖により記載し、日本原子力研究開発機構（2015）¹⁾に基づき、黒色系、暗色系、褐色系、赤～黄褐色系、青～オリーブ灰色系、灰色系に区分した。

9.3.2. 放射性炭素年代測定

堆積年代を決定するために、4 層準（深度 30.00 m、21.28 m、16.33 m、11.54 m）から植物片を採取し、AMS による ^{14}C 年代の測定を実施した。測定および暦年代較正は、山形大学加速器質量分析センターに委託した。暦年較正には、IntCal20²⁾を用いた。

9.4. 放射性炭素年代測定結果

ST2020 コアから得られた植物片の ^{14}C 年代は、深度 30.00 m で 22630 ± 60 yr BP、深度 21.28 m で 13800 ± 40 yr BP、深度 16.33 m で 8330 ± 30 yr BP、深度 11.54 m で 3270 ± 20 yr BP を示す（表 1）。このコアの

最深部である深度 30.0 m の ^{14}C 年代は、地質時代における更新世末に相当する。

表 1 放射性炭素年代測定結果.

深度 (m)	^{14}C 年代 (yr BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	2 σ 較正年代 (cal yr BC)
11.54	3270 $\pm$ 20	-27.0	1610–1570; 1570–1500; 1470–1460
16.33	8330 $\pm$ 30	-28.6	7510–6530
21.28	13800 $\pm$ 40	-29.6	14990–14620
30.00	22630 $\pm$ 60	-27.3	25260–24960; 24770–24530

9.5. コアの岩相

粒度と土色の違いにもとづくと、ST2020 コアは下位より、岩相ユニット 1（深度 30.00–21.34 m）、岩相ユニット 2（深度 21.34–12.00 m）、岩相ユニット 3（深度 12.00–6.66 m）、岩相ユニット 4（深度 6.66–5.46 m）の 4 つの岩相ユニットに区分される（図 2）。

岩相ユニット 1 は、砂礫層、砂泥互層（図 3-A）、有機質泥層、亜炭層から構成される。有機質泥層は、有機物や植物片を豊富に含み、暗色や褐色を呈する。また、まれに黄褐色や赤褐色を呈する。

岩相ユニット 2 は泥質であり、主に有機質泥層からなり、まれに砂～砂礫層の薄層を挟む。この有機質泥層は、主に暗色や黒色を呈する（図 3-C）。深度 18.71–17.94 m には、有機物や植物片をほとんど含まない灰色泥層が存在する（図 3-B）。

岩相ユニット 3 は、有機質泥層と砂層との互層、砂～砂礫層から構成され（図 3-D）、上方粗粒化・厚層化サクセッションに特徴づけられる。有機質泥層は、暗色や黒色を呈する。

岩相ユニット 4 は、主に黒色を呈する有機質泥層から構成され、砂層や礫層の薄層を挟在する。

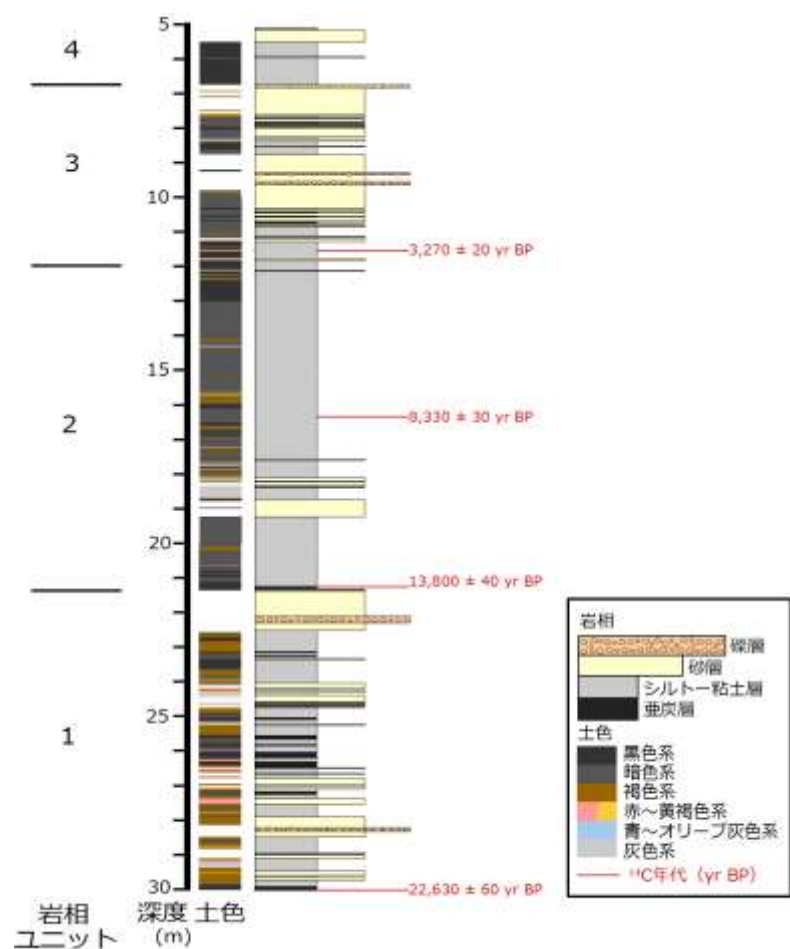


図 2 ST2020 コアの岩相柱状図

岩相ユニット1から2へは、砂礫層や砂泥互層といった粗粒な岩相から、有機質泥や灰色泥層といった細粒な岩相へと変化する。このことは、掘削サイト周辺における堆積環境が、河川といった砂礫を運搬する環境から、静水域の環境へと変化したことを示す。この堆積環境の転換期は、岩相ユニット1と2の境界付近にあたる深度21.28 mの植物片の ^{14}C 年代に基づく、およそ13800 yr BPであると考えられる。

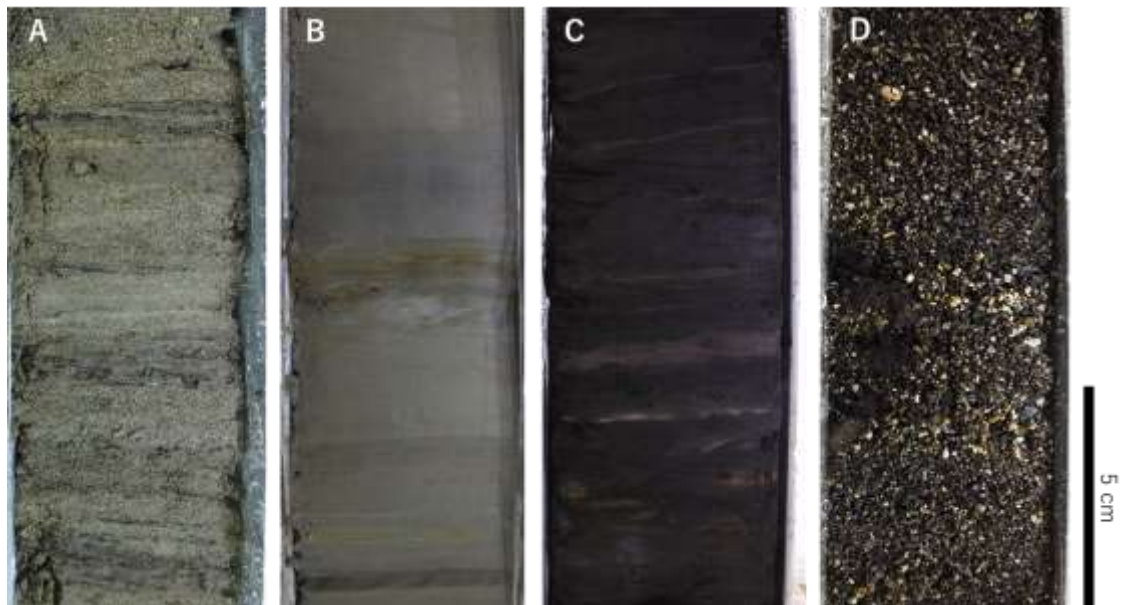


図3 ST2020 コアの代表的な岩相。(A) 深度23.45–23.33 m (岩相ユニット1) の砂層優勢砂泥互層。(B) 深度18.62–18.49 m (岩相ユニット2) の灰色泥層。(C) 深度15.40–15.26 m (岩相ユニット2) の有機質泥層。(D) 深度10.52–10.38 m (岩相ユニット3) の砂礫層。

9.6. まとめ

- ・諏訪湖南岸の陸上において、深度30.0 mのコア(ST2020 コア)を採取した。
- ・ST2020 コアの最深部の ^{14}C 年代は、 22630 ± 60 yr BPであり、更新世末に相当する。
- ・粒度と土色の特徴から、ST2020 コアは4つの岩相ユニットに区分される。
- ・掘削サイト周辺における堆積環境が、河川といった砂礫を運搬する環境から、静水域の環境へと変化したのは、 ^{14}C 年代でおよそ13800 yr BPであると考えられる。

謝辞

本調査研究では、アサヒグループ学術振興財団2020年度学術研究助成、および河川財団2020年度河川基金を研究費の一部として使用した。

引用

- 1) 日本原子力研究開発機構, 2015, 平成27年度地層処分技術調査等事業 地質環境長期安定性評価確証技術開発 報告書. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構.
- 2) Reimer, P.J. et al., 2020, The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal ka BP). *Radiocarbon* 62, 725–757.

第 10 章 諏訪湖の水質の長期的変化に関する整理

環境保全研究所水・土壌環境部

10.1. 目的

長野県では、昭和 47 (1972) 年度から、県内の公共用水域の水質測定を行っている。

本調査では、公共用水域水質測定で集積した諏訪湖の水質等の測定値を使用し、諏訪湖の水質の長期的な特徴を整理し、水質改善対策を検討する際の基礎資料を得ることを目的とする。

10.2. 調査方法

今回の調査には以下の測定値を使用した。

- ・ 期間 エクセル形式の測定値が入手できた 1999 年度から 2019 年度までの計 21 年間とした。項目ごとの測定値の詳細を、表 2.1 に示す。
- ・ 地点等 諏訪湖湖心の上層（水深 0.5m）

下層（湖底から 0.5m。なお、1998 年度は水深 5.5m に固定していた時期があるため、湖底から 0.5～0.6m。1999 年度は水深 5.5m に固定していたため、湖底から 0.6～0.8m。2001～2003 年度は水深 5.7m に固定していたため、湖底から 0.1～0.8m）。

測定日の午前の測定のみ（おおよそ 10:00 前後に採水）

- ・ 計算値 年平均値、概ね水質保全計画の期間の 5 年間の月平均を算出した。
- ・ 整理の方法
年平均値の経年変化、水質保全計画期間の月平均による経月変化として整理した。
- ・ 平均値の計算ルール
報告値が定量下限値未満の値を、「0」とした（例：報告値が「<0.05」であった場合、「0」とした）。
報告値が定量上限値より大きい値を、定量上限値とした（例：報告値が「>100」の場合、「100」とした。）。
欠測は、平均等の計算に入れず、測定回数の数え上げにも含めなかった（例：結氷等で 1 月のみ採水できなかった場合、当該年度の測定回数を 11 回とした）。
- ・ 水質保全計画の期間
第 3 期：水質保全計画の対象期間は 1997 年～2001 年度の 5 年間だが、本稿ではデータの入手が容易な 1999 年～2001 年度の 3 年間とした。
第 4 期：2002～2006 年度の 5 年間。
第 5 期：2007～2011 年度の 5 年間。
第 6 期：2012～2016 年度の 5 年間。
第 7 期：水質保全計画の対象期間は 2017～2021 年度の 5 年間だが、本稿ではデータを入手できた 2017～2019 年度の 3 年間とした。

表 10.2.1 調査項目の概要

本稿の 記載 箇所	項目	測定 位置	期間と理由	計算方法他
窒素 関連	全窒素 TN	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度。2002～2003 年度は年 4 回測定	
	溶解性窒素 DTN	上層	2006～2019 年度	
		下層	2006～2019 年度	
	硝酸性窒素 NO ₃ N	上層	1999～2019 年度。1999～2003 年度は年 4 回測定	
		下層	1999～2019 年度。1999～2003 年度は年 4 回測定	
	アンモニア性窒素 NH ₄ N	上層	2004～2019 年度	
		下層	2004～2019 年度	
	その他の溶解性窒素 DTN(非イオン)	上層	2006～2019 年度。DTN の測定期間と同じ	DTN(非イオン)=DTN-NO ₃ N-NH ₄ N NO ₃ N はほぼ検出されなかった ため、計算に含めなかった。
		下層	2006～2019 年度。DTN の測定期間と同じ	
	懸濁性窒素 PTN	上層	2006～2019 年度。DTN の測定期間と同じ	PTN=TN-DTN
		下層	2006～2019 年度。DTN の測定期間と同じ	
りん 関連	全りん TP	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度。1999～2003 年度は年 4 回測定	
	りん酸態りん PO ₄ P	上層	2006～2010、2012～2019 年度	
		下層	2006～2010、2012～2019 年度	
	全りんとりん酸態り んの差 TP-PO ₄ P	上層	2006～2010、2012～2019 年度。 PO ₄ P の測定期間と同じ	TP-PO ₄ P
		下層	2006～2010、2012～2019 年度。 PO ₄ P の測定期間と同じ	
	TN/TP	上層	1999～2019 年度	TN/TP
		下層	1999～2019 年度。1999～2003 年度は年 4 回測定	
有機物 関連 (COD 他)	COD	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	溶解性 COD D-COD	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	懸濁性 COD P-COD	上層	1999～2019 年度	(P-COD) = COD - (D-COD)
		下層	1999～2019 年度	
	BOD	上層	2002～2019 年度	
		下層	2004～2008、2017～2019 年度	
	BOD/COD	上層	2002～2019 年度。BOD の測定期間と同じ	BOD/COD
		下層	2004～2008、2017～2019 年度。 BOD の測定期間と同じ	
炭素 関連 (TOC 他)	全有機炭素 TOC	上層	2019 年度	
		下層	2019 年度	
	溶存態全有機炭素 DOC	上層	2019 年度	
		下層	2019 年度	
	懸濁態全有機炭素 POC	上層	2019 年度	POC = TOC - DOC
		下層	2019 年度	
	TOC/COD	上層	2019 年度	TOC/COD
		下層	2019 年度	
生物 濁り 関連	クロロフィル a Chl-a	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	SS	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	透明度	共通	1999～2019 年度	
	透視度	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
温度 DO pH	気温	船上	1999～2019 年度	
	水温	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	水温 上下層の差	-	1999～2019 年度	水温(上層)－水温(下層)
	溶存酸素 DO	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	溶存酸素 DO 上下層の差	-	1999～2019 年度	DO(上層)－DO(下層)
	pH	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	

表 10.2.1 調査項目の概要（続き）

本稿の 記載 箇所	項目	測定 位置	期間と理由	計算方法他
大腸菌 関連	大腸菌群数	上層	1999～2019 年度	
		下層	1999～2019 年度	
	ふん便性大腸菌群数	上層	2008～2019 年度。2008～2019 年度は年 4 回測定	
マン ガン 亜鉛	全マンガン T-Mn	上層	2009～2011、2013～2019 年度。 2009～2011、2013～2016 年度は年 1 回測定	
		下層	2017～2019 年度	
	溶解性マンガン D-Mn	上層	2017～2019 年度	
		下層	2017～2019 年度	
	懸濁性マンガン P-Mn	上層	2017～2019 年度。D-Mn の測定期間と同じ	(P-Mn) = (T-Mn) - (D-Mn)
		下層	2017～2019 年度。D-Mn の測定期間と同じ	
	全亜鉛 T-Zn	上層	2007～2019 年度。2007～2019 年度は年 4 回測定	
		下層	2007～2019 年度。2007～2019 年度は年 4 回測定	
ふっ素 ほう素 塩化物 イオン	ふっ素 F	上層	1999～2019 年度。 1999～2003、2007～2008 年度は年 4 回測定	
		下層	1999～2019 年度。 1999～2003、2007～2008 年度は年 4 回測定	
	ほう素 B	上層	1999～2019 年度。1999～2019 年度は年 4 回測定	
		下層	1999～2019 年度。1999～2019 年度は年 4 回測定	
	塩化物イオン Cl ⁻	上層	2006、2009～2019 年度	
		下層	2006、2009～2019 年度	
各項目 間の相 関	全窒素、溶解性窒 素、硝酸性窒素、 全りん、TN/TP、 クロロフィル a、 COD、SS、透視度、 透明度	上層	2017～2019 年度。各月の測定データ	

10.3. 結果と考察

10.3.1. 窒素関連

窒素関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.1.1 に示す。また、窒素関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.1.2 に示す。

10.3.1.1. 経年変化

- ・全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素の経年変化は、上層・下層ともに、増減はあるものの減少傾向である。また、上層に比べて下層の濃度が高い傾向である。
- ・アンモニア性窒素の経年変化は、上層・下層共に、ほぼ一定からやや微減傾向である。また、上層よりも下層の濃度が高い傾向である。
- ・溶解性窒素（非イオン）の経年変化は、微増傾向である。また、上層と下層の濃度がほぼ同じである。
- ・懸濁性窒素の経年変化は、ほぼ一定である。
- ・上層よりも下層の濃度が高い原因としては、上部から沈降した懸濁物質由来、底質からの溶出、底質の巻き上げ、周辺の下層からの移入が考えられる。
- ・全窒素は、2002 年度、2005 年度、2018 年度に前年度より大きく減少した。溶解性窒素は、2013 年度、2018 年度に前年度より大きく減少した。硝酸性窒素は、2002 年度、2005 年度、2013 年度、2018 年度に前年度より大きく減少した。なお、大きく減少した理由については、それぞれ不明である。

10.3.1.2. 経月変化

- ・硝酸性窒素の濃度は、上層・下層共に、冬期に増加する傾向がみられる。
- ・アンモニア性窒素の濃度は、下層において、夏期に増加している。
- ・懸濁性窒素の濃度は、上層・下層共に、春先と夏～秋の 2 山のピークを示している。
- ・溶解性窒素（非イオン）の濃度は、上層・下層共に、一年を通してあまり変動が見られない。
- ・全窒素の濃度は、上層・下層共に、春と夏～秋の 2 山のピークを示している。
- ・溶解性窒素は、第 4 期(2002～2006 年) 8 月において、大きな値を示している。これは、第 4 期において溶解性窒素を測定したのが 2006 年度だけであったため、単年度の値の影響を強く受けたグラフとなっている。なお、2006 年 8 月には、全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素が約 1mg/L のピークを示していた。
- ・硝酸性窒素は、第 3 期(1999～2001 年) 3 月において、大きな値を示している。これは、2001 年 2 月に測定できずに 2001 年 3 月に測定した値が大きく、また第 3 期において 3 月に測定した回数が 1 回のみであったため、単年度の値の影響を強く受けたグラフとなっている。なお、冬期に結氷の影響で欠測になった次の採水時に、硝酸性窒素が高くなった例としては、他にも 2008 年 3 月に 1.0mg/L、2018 年 3 月に 0.94mg/L を示した例がある。

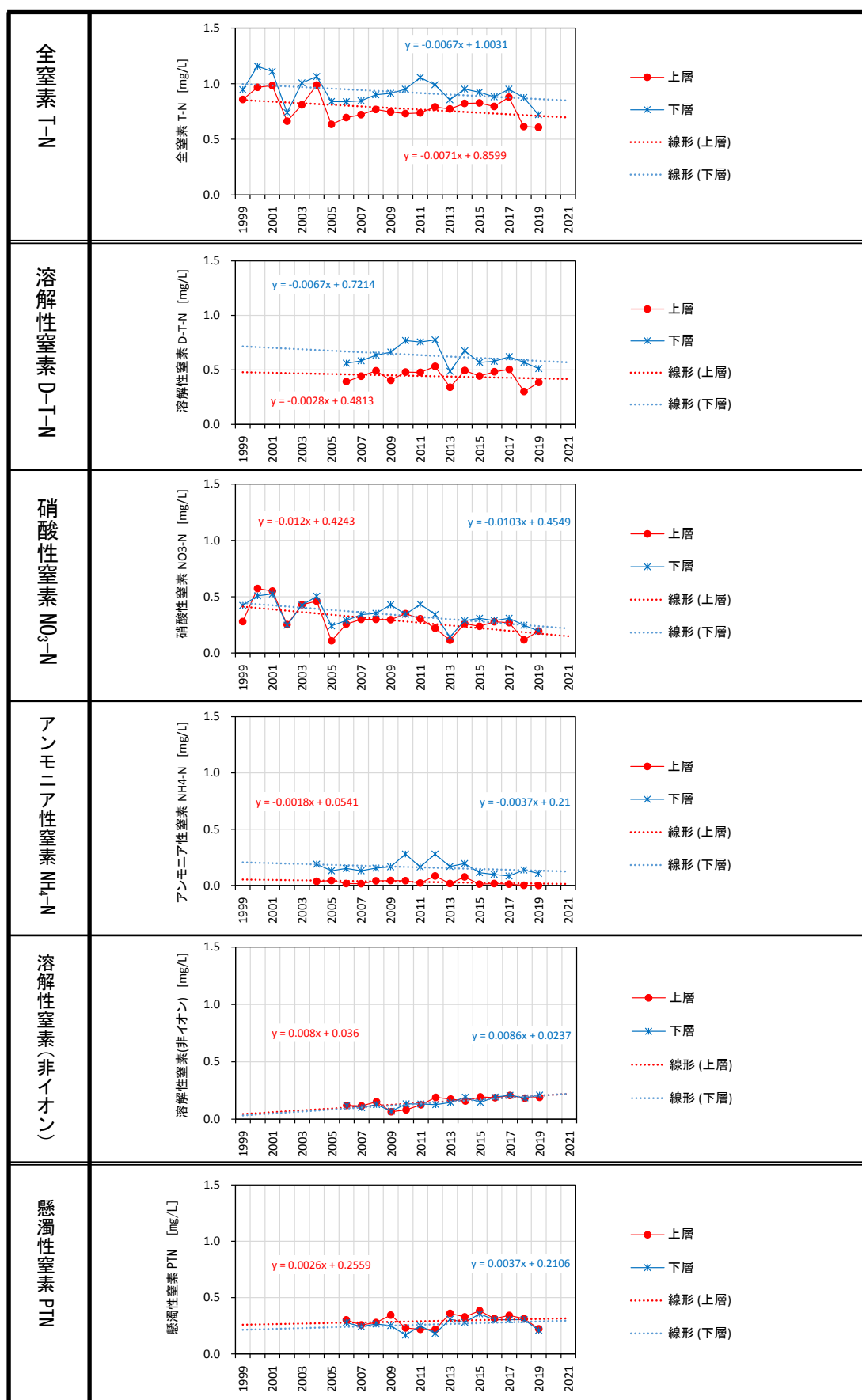


図 10.3.1.1 窒素関連項目の年平均値の経年変化

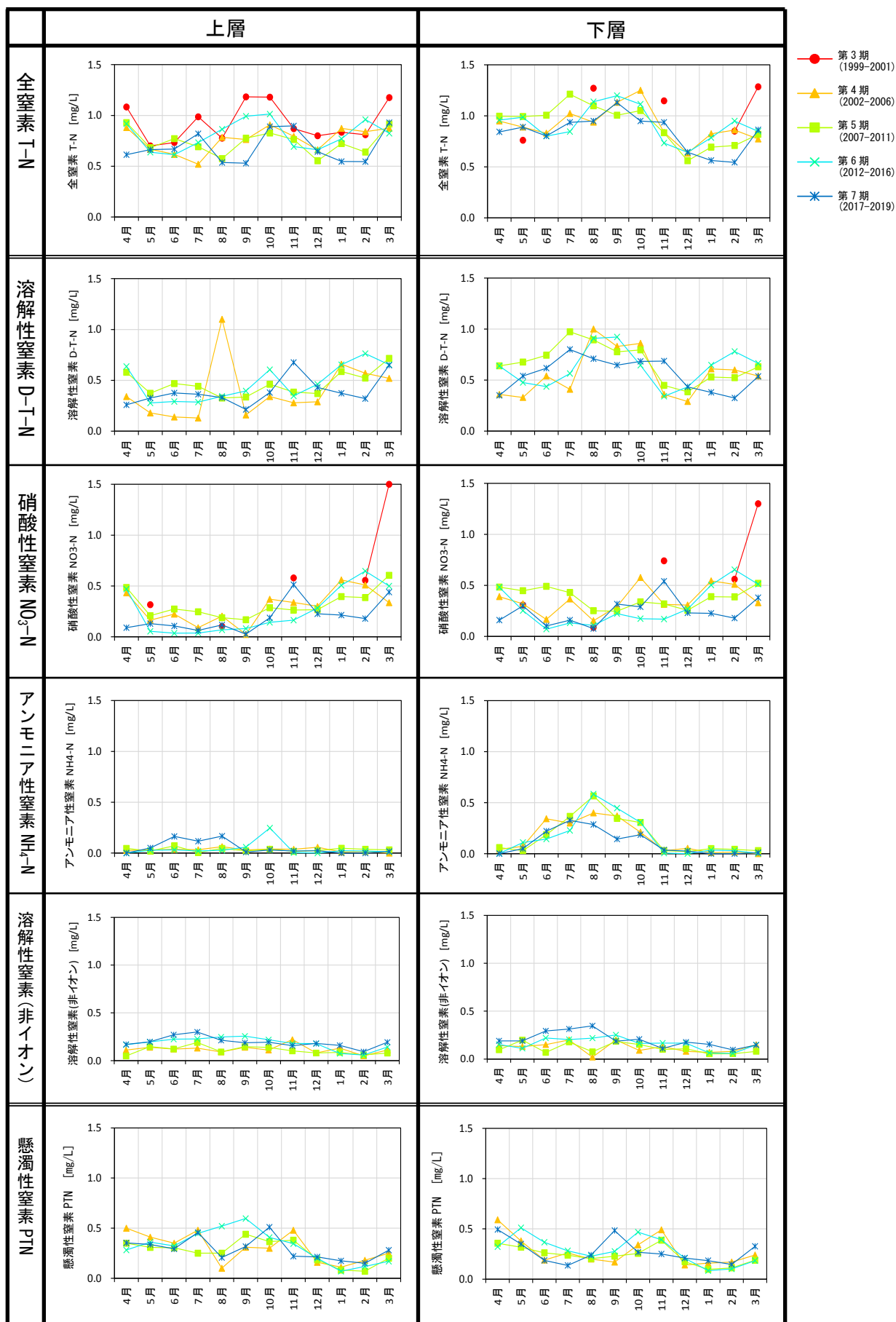


図 10.3.1.2 窒素関連項目の月平均値の経月変化

10.3.2. りん関連

りん関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.2.1 に示す。また、りん関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.2.2 に示す。全りんの濃度が 0.03mg/L を下回る月の分布を表 10.3.2.1 と表 10.3.2.2 に示す。全りんの年平均値を 1980 年代初頭と比較したグラフを図 10.3.2.3 に示す。

なお、溶存態のりんはほとんどがりん酸イオンの形態と言われているため、りん酸態りんを溶存態りんの代替指標とした。さらに、全りんとりん酸態りんの差を懸濁態りんの代替指標とした。

10.3.2.1. 経年変化

- ・りん酸態りんの濃度は、全りんの濃度に比べて非常に小さかったため、りんのほとんどが懸濁態で存在していることが分かる。
- ・全りん、りん酸態りん、全りんとりん酸態りんの差の経年変化は、上層・下層共に、変動は大きいもののほぼ一定であった。また、上層よりも下層の濃度が高い傾向であった。
- ・TN/TP 比の経年変化は、減少傾向であった。対象期間中に全りんがほぼ一定であるのに対し全窒素が減少してきたためと考えられる。
- ・りん関連項目の上層と下層の濃度の関係は、窒素と同様に、上層よりも下層の濃度が高かった。上層よりも下層の濃度が高い原因としては、上部から沈降した懸濁物質由来、底質からの溶出・底質の巻き上げ、周辺の下層からの移入が考えられる。
- ・TN/TP は、2005 年度、2013 年度に大きな減少を示した。全窒素が当該年に大きな減少を示したことが原因と考えられる。

10.3.2.2. 経月変化

- ・全りん、全りんとりん酸態りんの差の濃度は、上層・下層共に、春に小さいピーク、夏～秋に大きいピークが見られた。
- ・りん酸態りんの濃度は、下層において、夏にピークの見られる時期があった。
- ・TN/TP は、上層・下層共に、12 月～2 月頃にかけて上昇する傾向が見られた。

10.3.2.3. 富栄養化指標

Vollenweider の富栄養化指標等によると、全りんの濃度 0.03mg/L が富栄養状態と中栄養状態の閾値とすることが多い¹⁾。

1999 年度以降の諏訪湖湖心の個別の測定値は、表 10.3.2.1 をみると上層においては夏期・冬期に 0.03mg/L を下回ることがあり、表 10.3.2.2 をみると下層においては 12 月～3 月頃に 0.03mg/L を下回ることがあった。参考に掲載した 1980 年度から 1983 年度の間では、ほとんどの測定において 0.03mg/L を下回ることにはなかった。

諏訪湖湖心では、全りん濃度から見ると徐々に富栄養状態から中栄養状態へと遷移しつつあると考えられる。

図 10.3.2.3 をみると、全りんの年平均値の経年変化は、1980 年度から 1983 年度の間では上下層共にあまり相違が見られないが、1999 年以降は上層よりも下層の濃度が高い傾向であった。

1) 水理公式集[2018 年度版]、土木学会、平成 31 年 3 月 1 日発行、丸善出版、p877

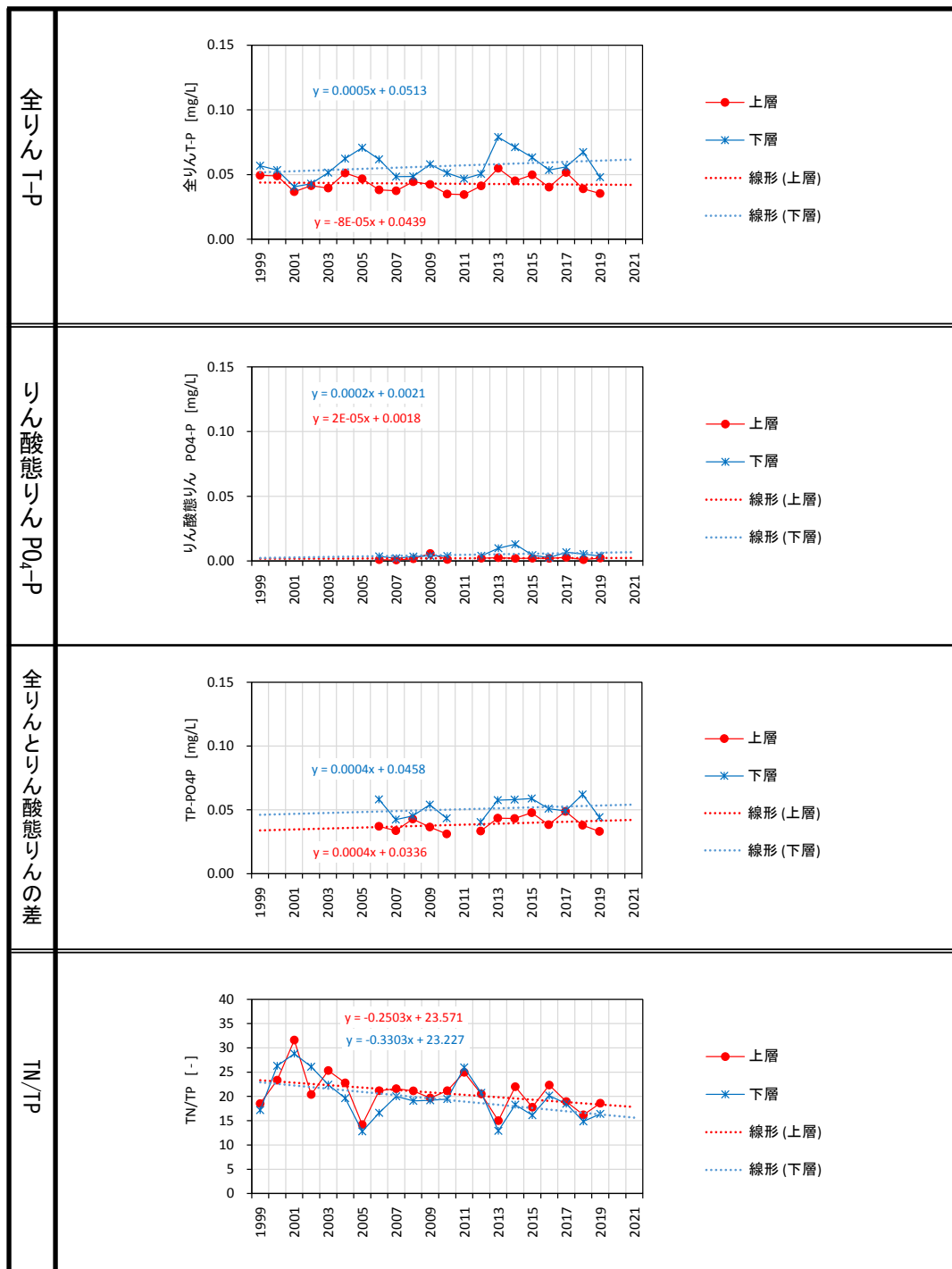


図 10.3.2.1 りん関連項目の年平均値の経年変化

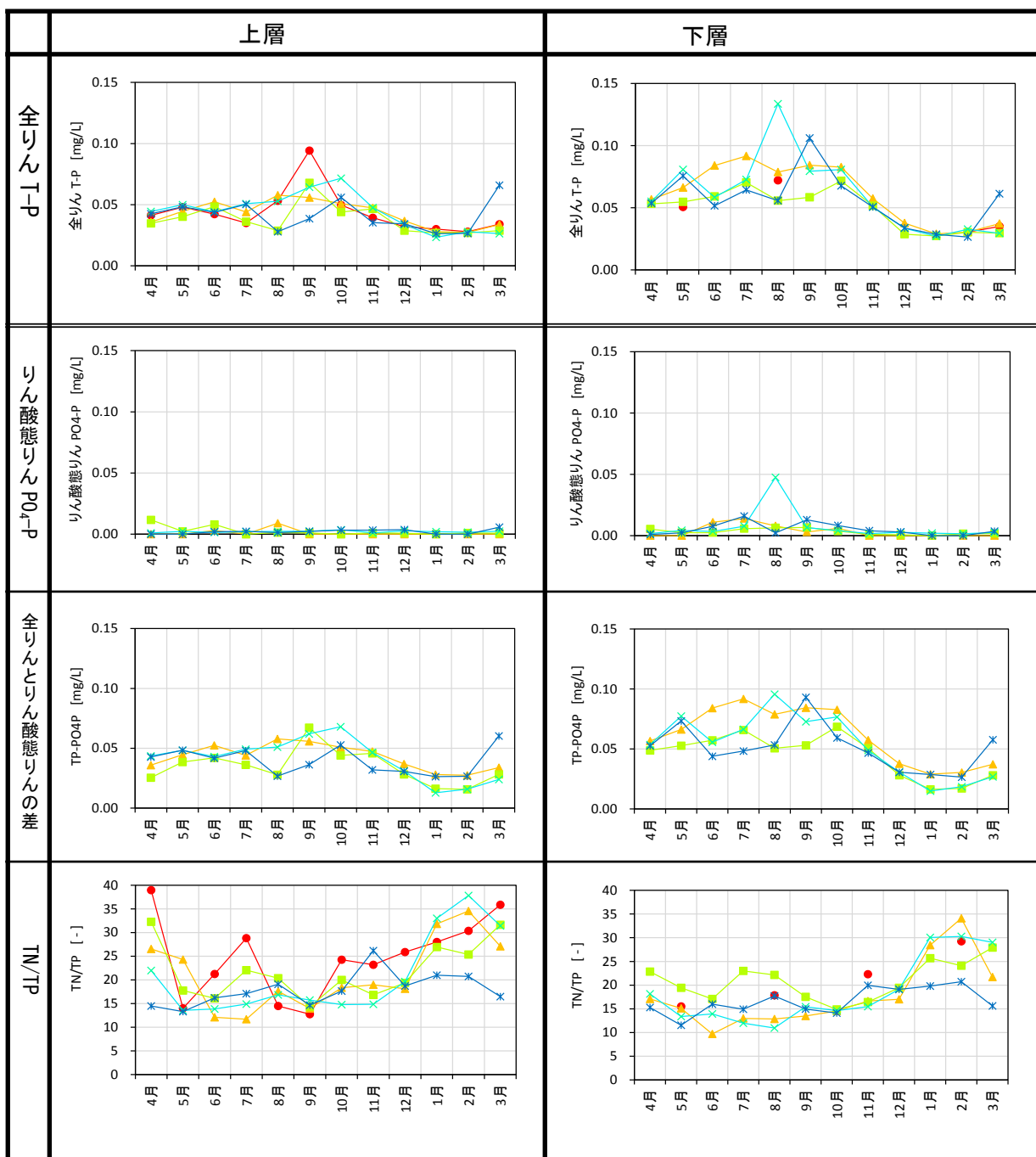


図 10.3.2.2 りん関連項目の月平均値の経月変化



表 10.3.2.1 湖心上層において全りん濃度が 0.03mg/L を下回った月（表中の黄色の欄）

年度	1980	1981	1982	1983	====	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	濃度	濃度	濃度	濃度		濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
4月		0.072	0.042	0.042		0.057	0.050	0.017	0.023	0.044	0.027	0.034	0.051	0.026	0.048	0.040	0.046	0.014	0.028	0.044	0.045	0.052	0.053	0.041	0.058	0.029
5月	0.036	0.066	0.046	0.052		0.065	0.035	0.044	0.049	0.010	0.060	0.055	0.049	0.037	0.063	0.026	0.041	0.034	0.036	0.062	0.061	0.054	0.037	0.059	0.055	0.031
6月	0.061	0.072	0.073	0.057		0.057	0.044	0.026	0.059	0.059	0.046	0.046	0.052	0.028	0.059	0.048	0.042	0.065	0.050	0.043	0.033	0.052	0.043	0.028	0.056	0.047
7月	0.105	0.040	0.118	0.100		0.050	0.028	0.027	0.028	0.050	0.040	0.056	0.046	0.034	0.022	0.052	0.040	0.033	0.035	0.069	0.043	0.062	0.045	0.043	0.035	0.073
8月	0.194	0.272	0.057	0.340		0.050	0.081	0.029	0.046	0.036	0.130	0.052	0.025	0.027	0.026	0.032	0.035	0.024	0.042	0.059	0.053	0.049	0.061	0.028	0.027	0.029
9月	0.080	0.327	0.170	0.140		0.110	0.100	0.073	0.071	0.046	0.082	0.042	0.038	0.088	0.110	0.073	0.035	0.034	0.054	0.084	0.061	0.075	0.048	0.043	0.050	0.023
10月	0.080	0.119	0.069	0.064		0.041	0.042	0.066	0.039	0.042	0.074	0.064	0.035	0.052	0.045	0.063	0.030	0.030	0.076	0.066	0.097	0.070	0.049	0.083	0.035	0.050
11月	0.071	0.099	0.076	0.054		0.038	0.051	0.029	0.061	0.051	0.027	0.036	0.062	0.039	0.045	0.059	0.039	0.051	0.034	0.058	0.053	0.050	0.043	0.038	0.039	0.029
12月	0.027	0.075	0.064	0.047		0.027	0.028	0.041	0.027	0.050	0.037	0.045	0.025	0.024	0.021	0.035	0.030	0.034	0.029	0.036	0.037	0.034	0.033	0.035	0.033	0.035
1月						0.031		0.029		0.031	0.032		0.021	0.028	0.028	0.025					0.020	0.023	0.027	0.030	0.026	0.023
2月						0.032		0.024	0.017	0.029	0.030	0.038	0.023		0.036	0.024	0.021				0.016	0.047	0.021		0.028	0.025
3月	0.047	0.064	0.048			0.035	0.031	0.036	0.035	0.027	0.030	0.046	0.031	0.029	0.031	0.031	0.026	0.027	0.028	0.027	0.023	0.030	0.024	0.140	0.027	0.031

表 10.3.2.2 湖心下層において全りん濃度が 0.03mg/L を下回った月（表中の黄色の欄）

年度	1980	1981	1982	1983	====	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
濃度	濃度	濃度	濃度	濃度		濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度	濃度
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
4月		0.086	0.066	0.036							0.053	0.049	0.068	0.033	0.047	0.099	0.063	0.024	0.036	0.046	0.070	0.067	0.056	0.043	0.071	0.047
5月	0.036	0.077	0.051	0.057		0.067	0.045	0.040	0.046	0.037	0.097	0.097	0.054	0.040	0.078	0.039	0.040	0.077	0.054	0.091	0.099	0.100	0.060	0.065	0.110	0.052
6月	0.056	0.074	0.071	0.051							0.097	0.078	0.077	0.054	0.058	0.061	0.066	0.057	0.059	0.044	0.042	0.068	0.079	0.038	0.067	0.050
7月	0.068	0.081	0.088	0.094							0.078	0.067	0.130	0.100	0.061	0.110	0.053	0.028	0.064	0.071	0.099	0.054	0.075	0.063	0.049	0.081
8月	0.058	0.248	0.099	0.049		0.071	0.080	0.065	0.042	0.078	0.070	0.140	0.064	0.035	0.073	0.086	0.052	0.033	0.048	0.190	0.210	0.110	0.110	0.069	0.057	0.041
9月	0.101	0.083	0.083	0.011							0.085	0.100	0.068	0.060	0.042	0.062	0.076	0.052	0.083	0.093	0.100	0.071	0.050	0.044	0.200	0.074
10月	0.115	0.180	0.052	0.066							0.100	0.056	0.092	0.067	0.046	0.069	0.091	0.085	0.074	0.130	0.068	0.080	0.052	0.071	0.064	0.068
11月	0.041	0.088	0.081	0.058		0.070	0.060	0.031	0.068	0.062	0.030	0.049	0.078	0.064	0.047	0.058	0.038	0.051	0.027	0.060	0.061	0.059	0.046	0.040	0.063	0.049
12月	0.045	0.080	0.054	0.043							0.042	0.046	0.025	0.026	0.024	0.033	0.029	0.032	0.031	0.034	0.032	0.037	0.034	0.034	0.034	0.033
1月											0.031		0.027	0.028	0.030	0.024					0.023	0.032	0.026	0.029	0.031	0.026
2月						0.035					0.034	0.048	0.025			0.037	0.025	0.029				0.024	0.048	0.026	0.028	0.025
3月	0.086	0.079	0.045			0.041	0.029				0.031	0.048	0.033	0.025	0.040	0.029	0.026	0.028	0.029	0.031	0.025	0.034	0.028	0.120	0.034	0.030

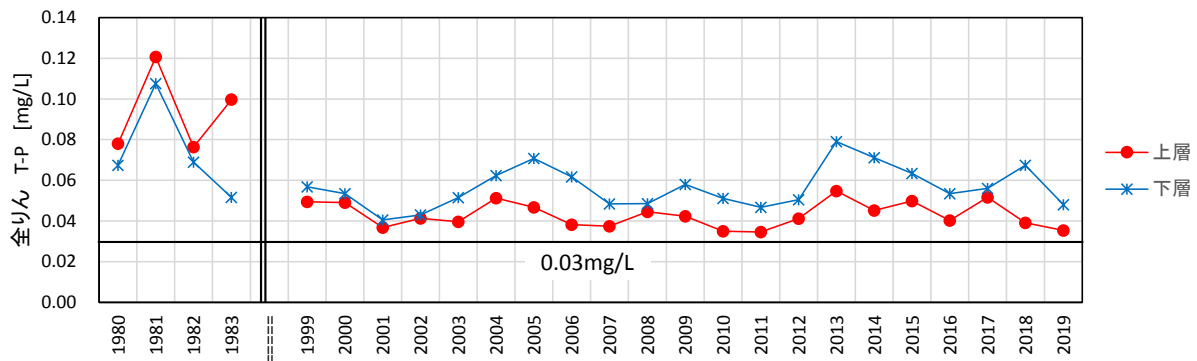


図 10.3.2.3 湖心における全りんの年平均値の経年変化

10.3.3. 有機物関連（COD 他）

有機物関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.3.1 に示す。また、有機物関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.3.2 に示す。

10.3.3.1. 経年変化

- ・ COD、溶解性 COD、懸濁性 COD の経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。また、上層に比べて下層の濃度が低い傾向であった。
- ・ BOD の経年変化は、明確な傾向は見られず、ほぼ一定であった。また、COD と同様に、上層に比べて下層の濃度が低い傾向であった。
- ・ COD、BOD の増減の様子は比較的似ていた。
- ・ BOD/COD の経年変化は、ほぼ 0.6 付近で一定であった。また、上層に比べて下層の値が低い傾向であった。
- ・ 有機物関連項目の全ての項目の上層と下層の濃度の大小関係は、窒素・りんとは異なり、上層の濃度が高く、下層の濃度が低かった。

10.3.3.2. 経月変化

- ・ COD、溶解性 COD、懸濁性 COD は、夏に増加した。
- ・ BOD は、上層においては、測定年によって異なり明確な傾向が見られなかった。下層においては、夏期に小さく冬期に大きかった。
- ・ BOD/COD は、上層・下層共に、夏期に小さく冬期に大きかった。

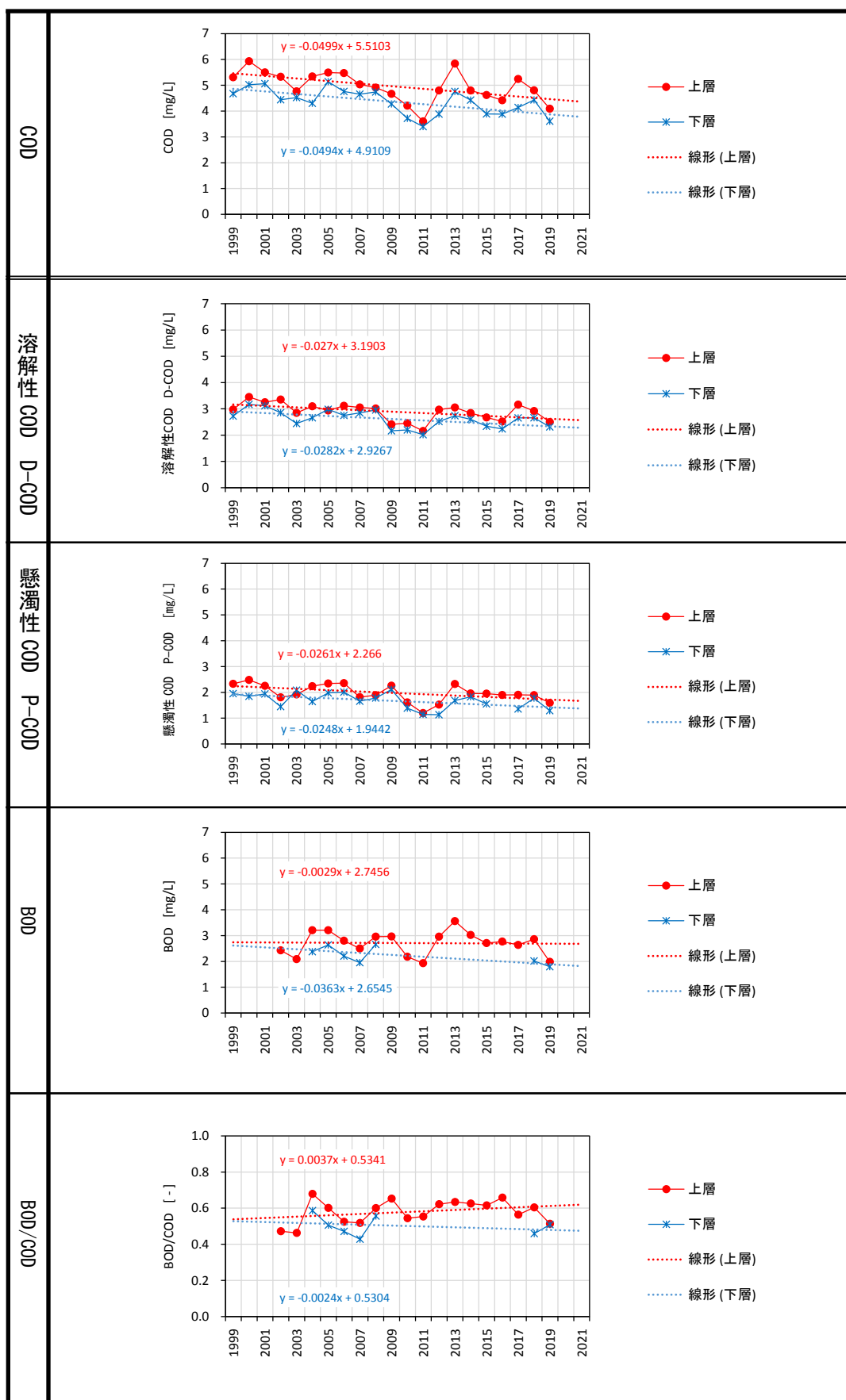


図 10.3.3.1 有機物関連項目の年平均値の経年変化

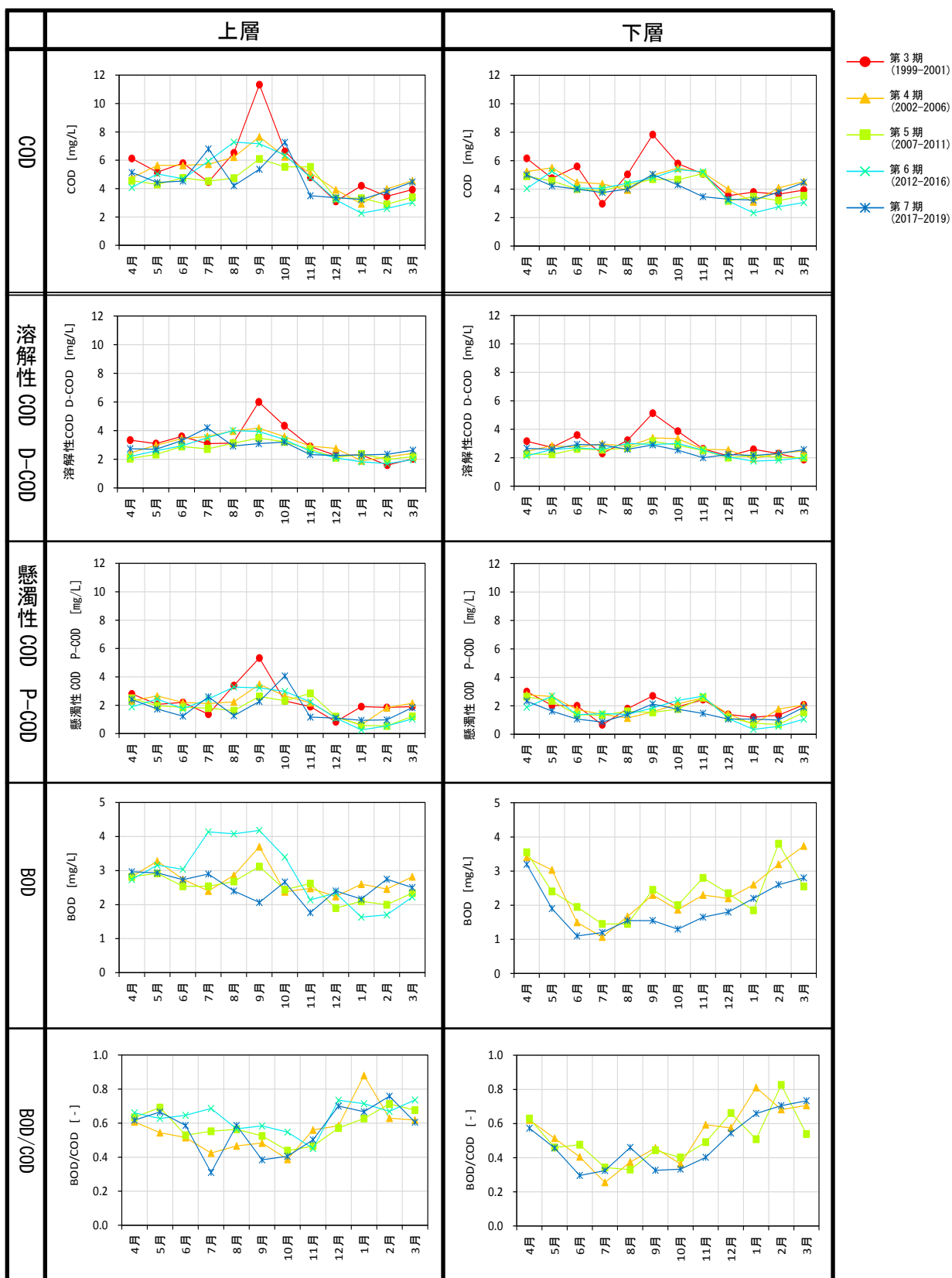


図 10.3.3.2 有機物関連項目の月平均値の経月変化

10.3.4. 炭素関連（TOC 他）

炭素関連項目（TOC 他）の 2019 年度の経月変化を図 10.3.4.1 に示す。TOC は 2019 年度から測定を開始したため、経年変化については取り扱わなかった。

10.3.4.1. 経月変化

- ・ TOC、懸濁態 TOC の上層は、7 月と 10 月に増加した。同時期に、上層のクロロフィル a も増加していることが影響していると考えられる。
- ・ TOC、懸濁態 TOC の下層は、10 月にわずかに増加した。
- ・ 溶存態 TOC は、上層・下層共に、ほとんど同じ値であり、通年ほぼ一定の濃度であった。
- ・ TOC/COD は、上層・下層共に、ほとんど同じ値であり、通年ほぼ一定であった。

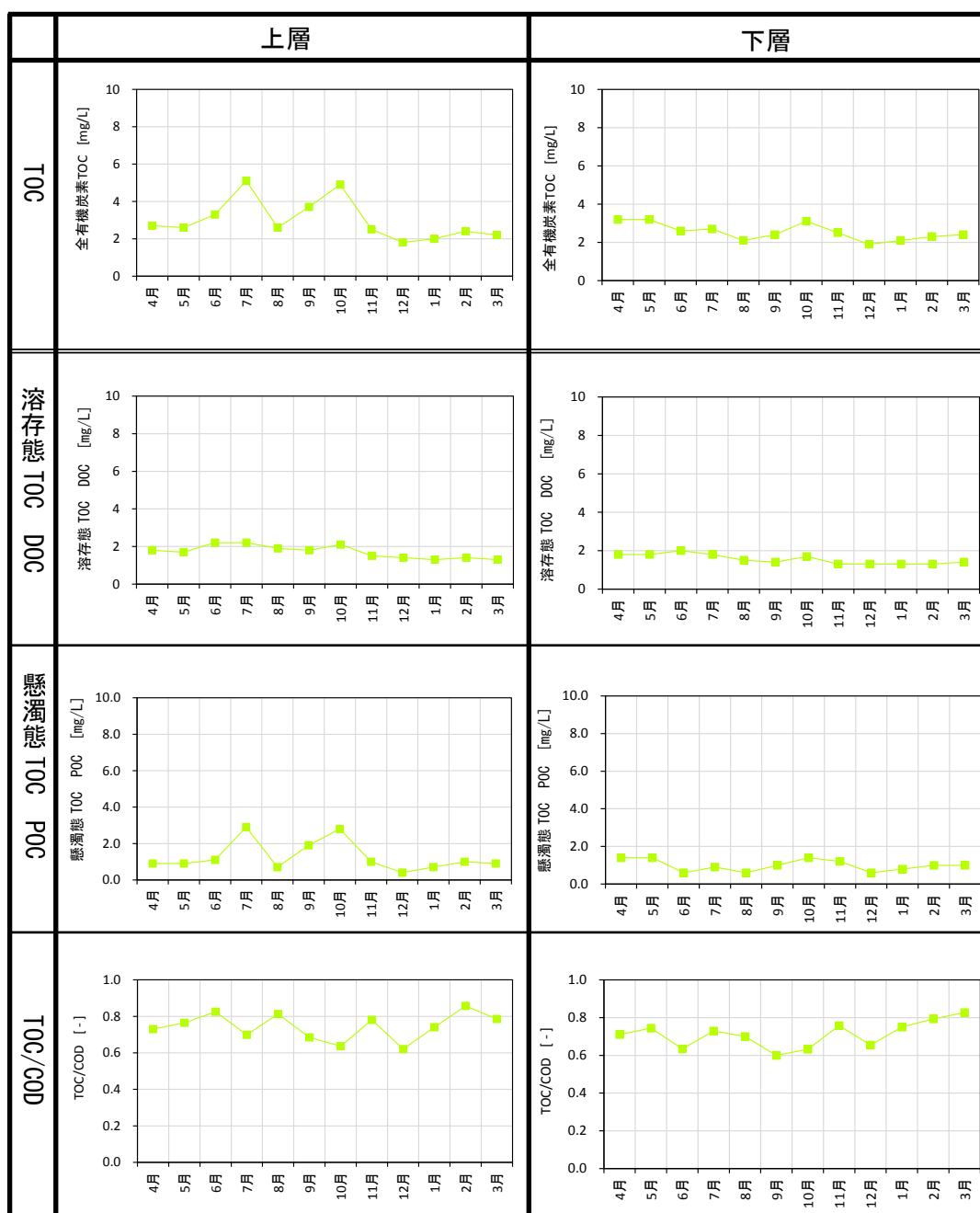


図 10.3.4.1 炭素関連項目（TOC 等）の 2019 年度の経月変化

10.3.5. 生物・濁り関連

生物、濁り関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.5.1 に示す。また、生物、濁り関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.5.2 に示す。

10.3.5.1. 経年変化

- ・クロロフィル a の経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。また、COD と同様、上層に比べて下層の濃度が低かった。
- ・SS の経年変化は、上層においては、微減の傾向であった。また、下層においては、変動は大きい。なお、上層に比べて下層の濃度が高い傾向であった。
- ・透明度の経年変化は、変動は大きいが増加の傾向であった。
- ・透視度の経年変化は、上層においては、変動は大きいが増加の傾向であった。また、下層においては、変動は大きいが増加の傾向であった。なお、上層に比べて下層の値が小さい傾向であった。

10.3.5.2. 経月変化

- ・クロロフィル a、SS の濃度は、春と夏～秋の 2 回増加する傾向が見られた。
- ・透明度、透視度の経年変化は、クロロフィル、SS とほぼ逆の傾向を示していた。

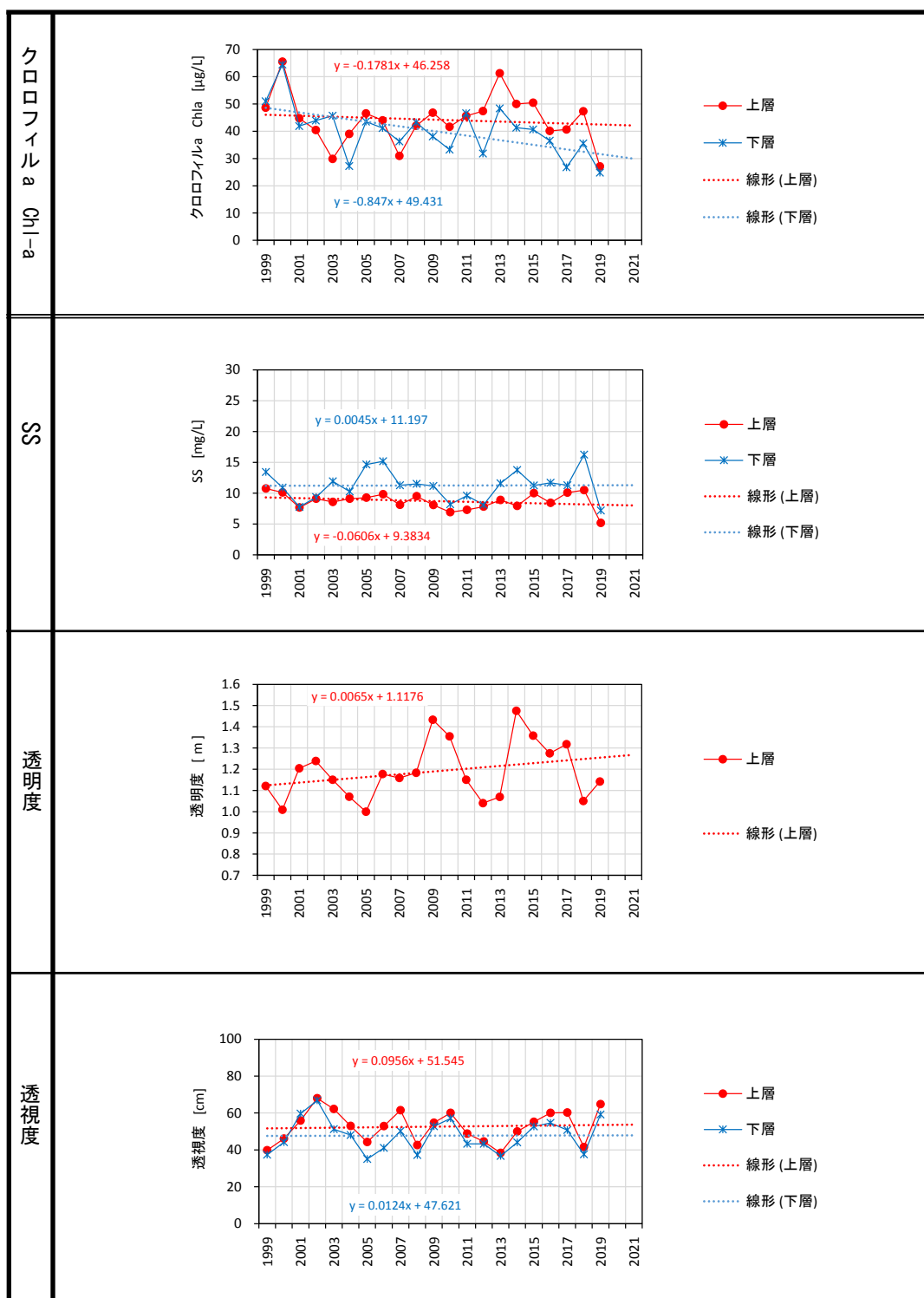


図 10.3.5.1 濁り関連項目の年平均値の経年変化

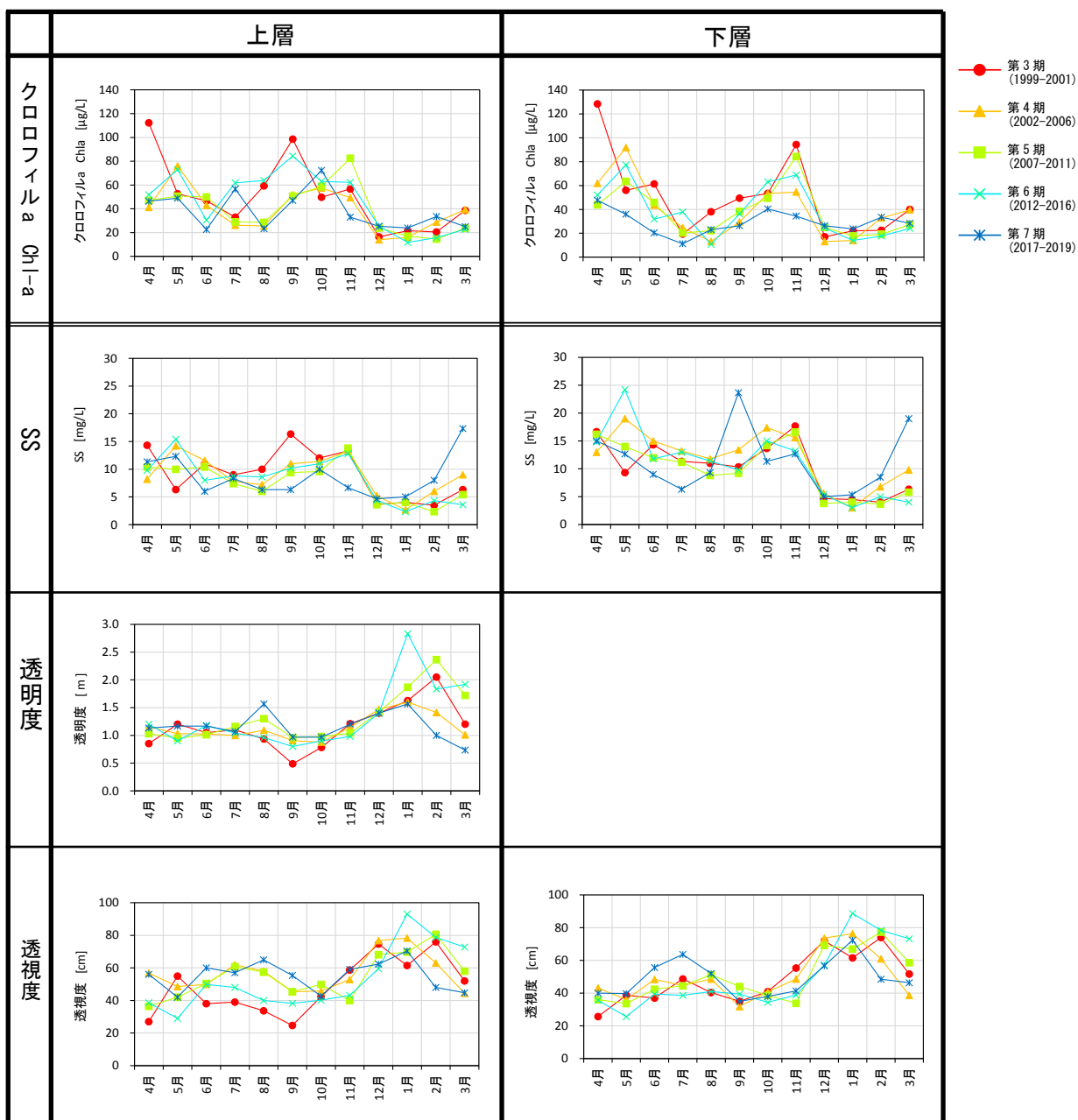


図 10.3.5.2 濁り関連項目の月平均値の経月変化

10.3.6. 温度、pH、D0

温度、pH、D0 関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.6.1 に示す。

また、温度、pH、D0 関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.6.2 に示す。

10.3.6.1. 経年変化

- ・ 気温の経年変化は、上昇傾向であった。
- ・ 水温の経年変化は、上層はわずかに上昇傾向だが、下層はわずかに低下傾向であった。また、水温の上下層の差は、変動はあるが上昇傾向であった。気温の上昇により夏期に諏訪湖内の温度成層が強固に形成されるようになってきていると考えられる。
- ・ 溶存酸素の経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。上層の溶存酸素濃度は水温の上昇により減少し、下層の溶存酸素濃度は温度成層が強固に形成される時期が長期化したため減少したと考えられる。
- ・ 溶存酸素の上下層の差の経年変化は、ほぼ一定であった。
- ・ pH の経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。光合成をする植物プランクトンが減少してきたことが考えられる。また、上層に比べて下層の値が低い傾向であった。

10.3.6.2. 経月変化

- ・ 水温の上下層の差を見ると、温度差が 1℃以上ある期間が、第 3 期以降拡大しているように見える。経年変化の項で見たように、気温が上昇傾向にある影響を受けていると思われる。
- ・ 溶存酸素の上下層の差をみると、2mg/L 以上の濃度差の期間が、第 3 期以降拡大しているように見える。水温の上下層の差が拡大したことが影響していると思われる。なお、現時点では貧酸素状態の発生原因として様々な意見が出ており、慎重な検討が必要である。
- ・ 溶存酸素の濃度が、上層において、夏期に若干減少する傾向である。夏期には上層の水温の上昇に伴い溶存できる酸素濃度が低くなるためと考えられる。
- ・ 上層の pH は初夏から秋にかけて高い傾向であり、下層の pH は初夏から秋にかけて低い傾向である。初夏から秋にかけては植物プランクトンが上層で光合成を行い炭酸同化作用により pH が上昇したためと考えられる。

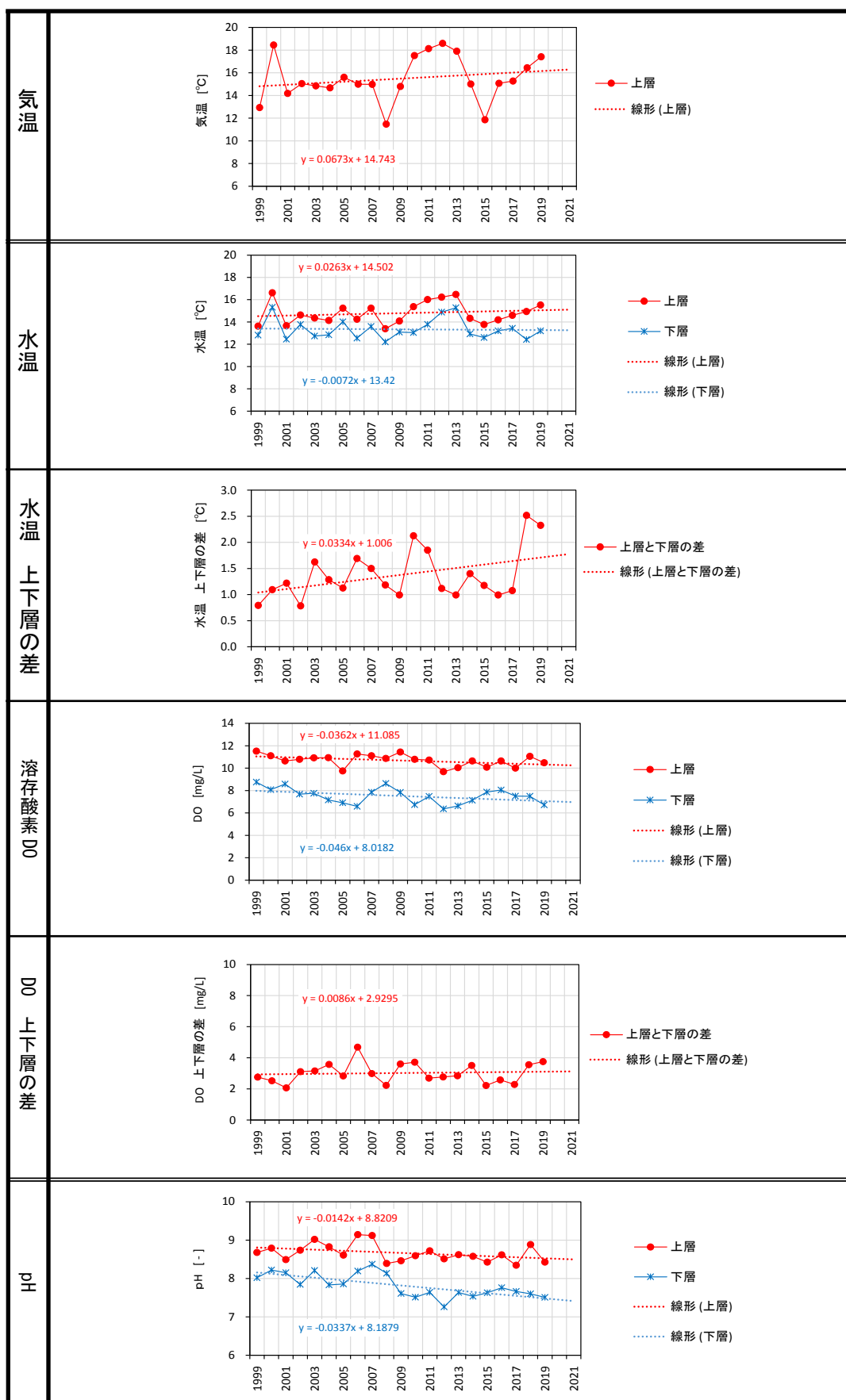


図 10.3.6.1 温度、pH、DO の年平均値の経年変化

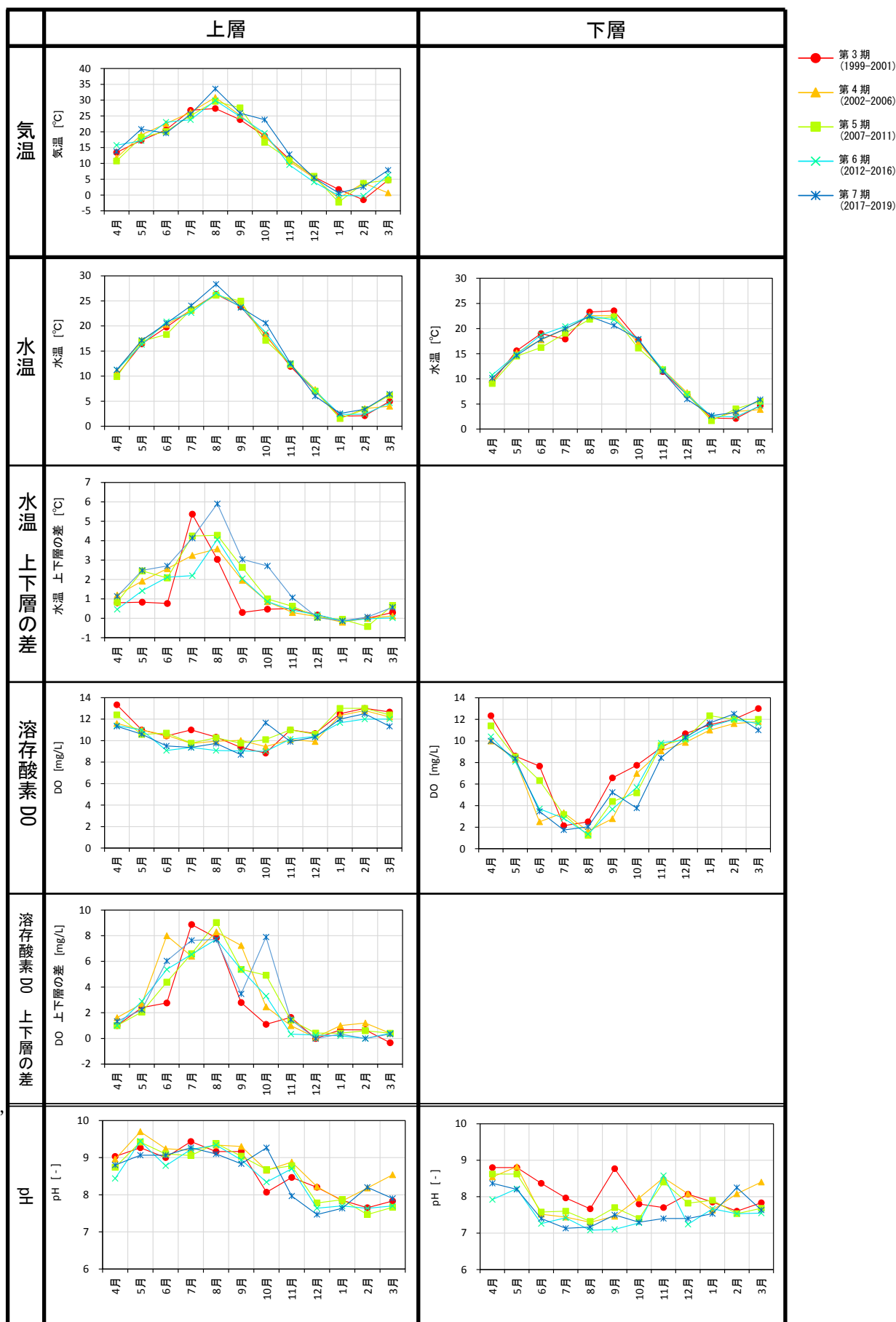


図 10.3.6.2 温度、pH、DO の月平均値の経月変化

10.3.7. 大腸菌関連

大腸菌関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.7.1 に示す。また、大腸菌関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.7.2 に示す。

10.3.7.1. 経年変化

- ・大腸菌群数の経年変化は、上層・下層共に、増加の傾向であった。また、上層に比べて下層の濃度が高かった。
- ・ふん便性大腸菌群数の経年変化は、変動が大きく、傾向が不明であった。

10.3.7.2. 経月変化

- ・大腸菌群数は、初夏から秋にかけて多い傾向であった。
- ・ふん便性大腸菌群数は、傾向が不明であった。

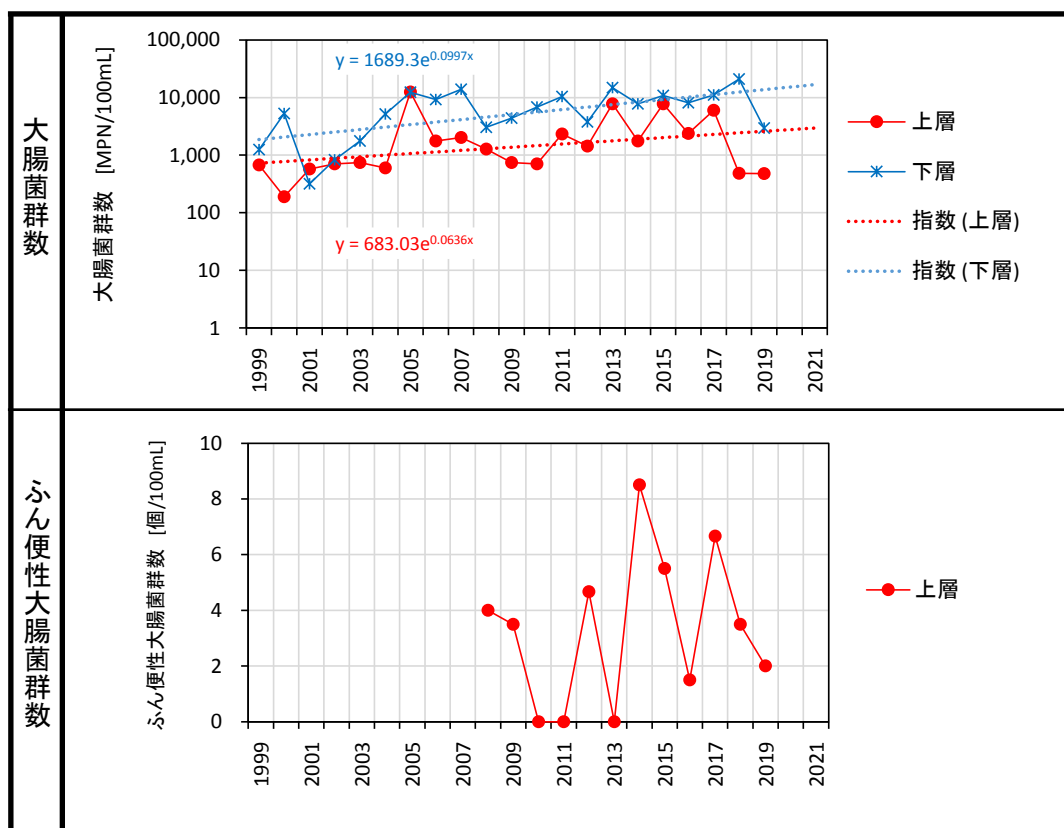
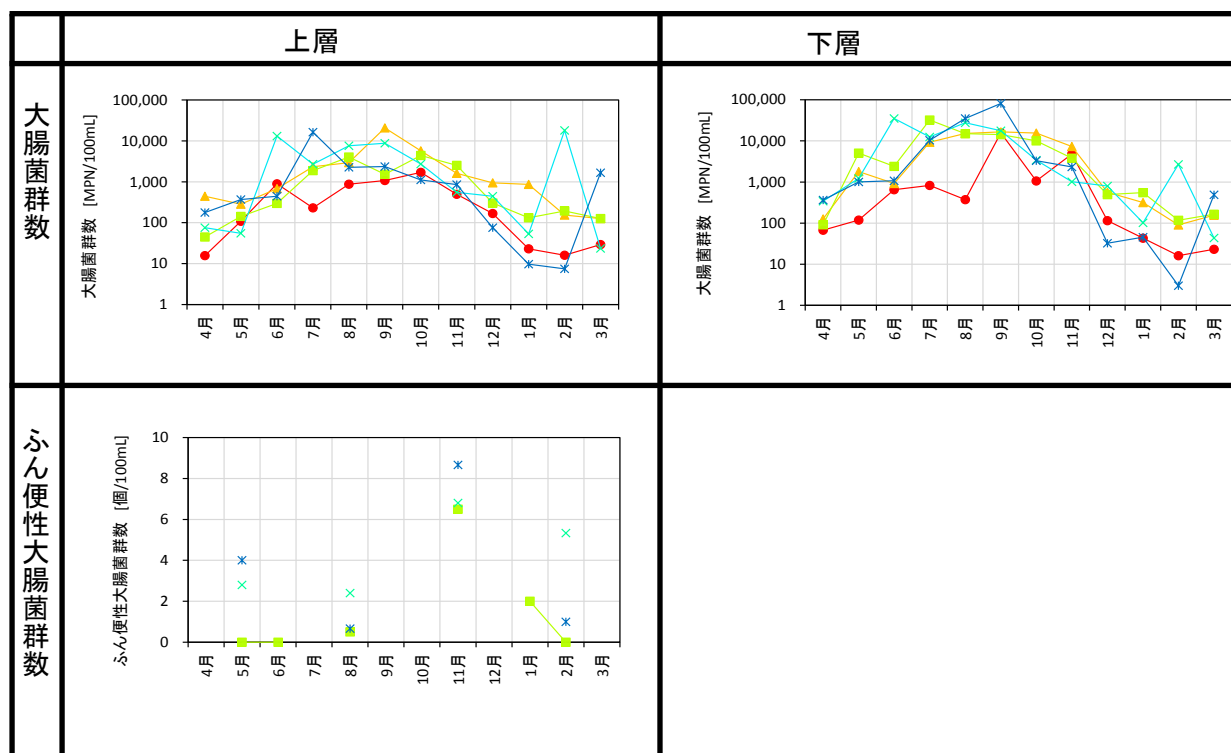


図 10.3.7.1 大腸菌関連の年平均値の経年変化



- 第3期 (1999-2001)
- ▲ 第4期 (2002-2006)
- 第5期 (2007-2011)
- × 第6期 (2012-2016)
- ★ 第7期 (2017-2019)

図 10.3.7.2 大腸菌関連の月平均値の経月変化

10.3.8. マンガン、亜鉛

マンガン、亜鉛関連項目の年平均値の経年変化を図 10.3.8.1 に示す。

また、マンガン、亜鉛関連項目の水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.8.2 に示す。

10.3.8.1. 経年変化

- ・ 全マンガンの経年変化は、上層においては増加の傾向であった。
全マンガンの下層の経年変化は、測定年数が少ないので、傾向は不明であった。
なお、上層に比べて下層の濃度が高かった。
- ・ 溶解性マンガン、懸濁性マンガンの経年変化は、測定年数が少ないので傾向は不明であった。また、上層に比べて下層の濃度が高かった。
- ・ 全亜鉛の経年変化は、変動が大きく傾向は不明であった。また、上層に比べて下層の濃度が高かった。

10.3.8.2. 経月変化

- ・ マンガンは、夏期において下層の濃度が高かった。
- ・ 亜鉛は、季節の傾向が不明であった。

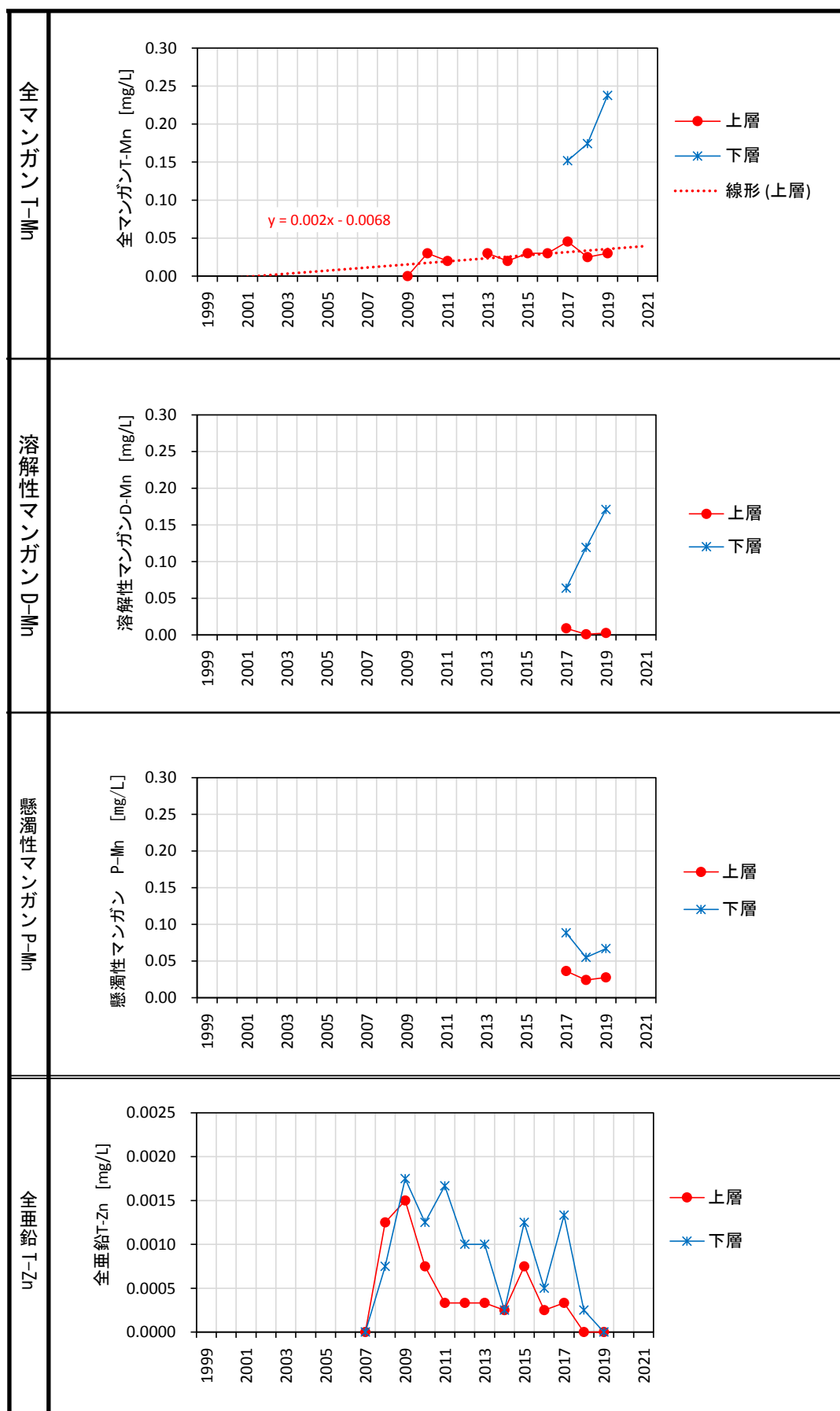


図 10.3.8.1 マンガン、亜鉛の年平均値の経年変化

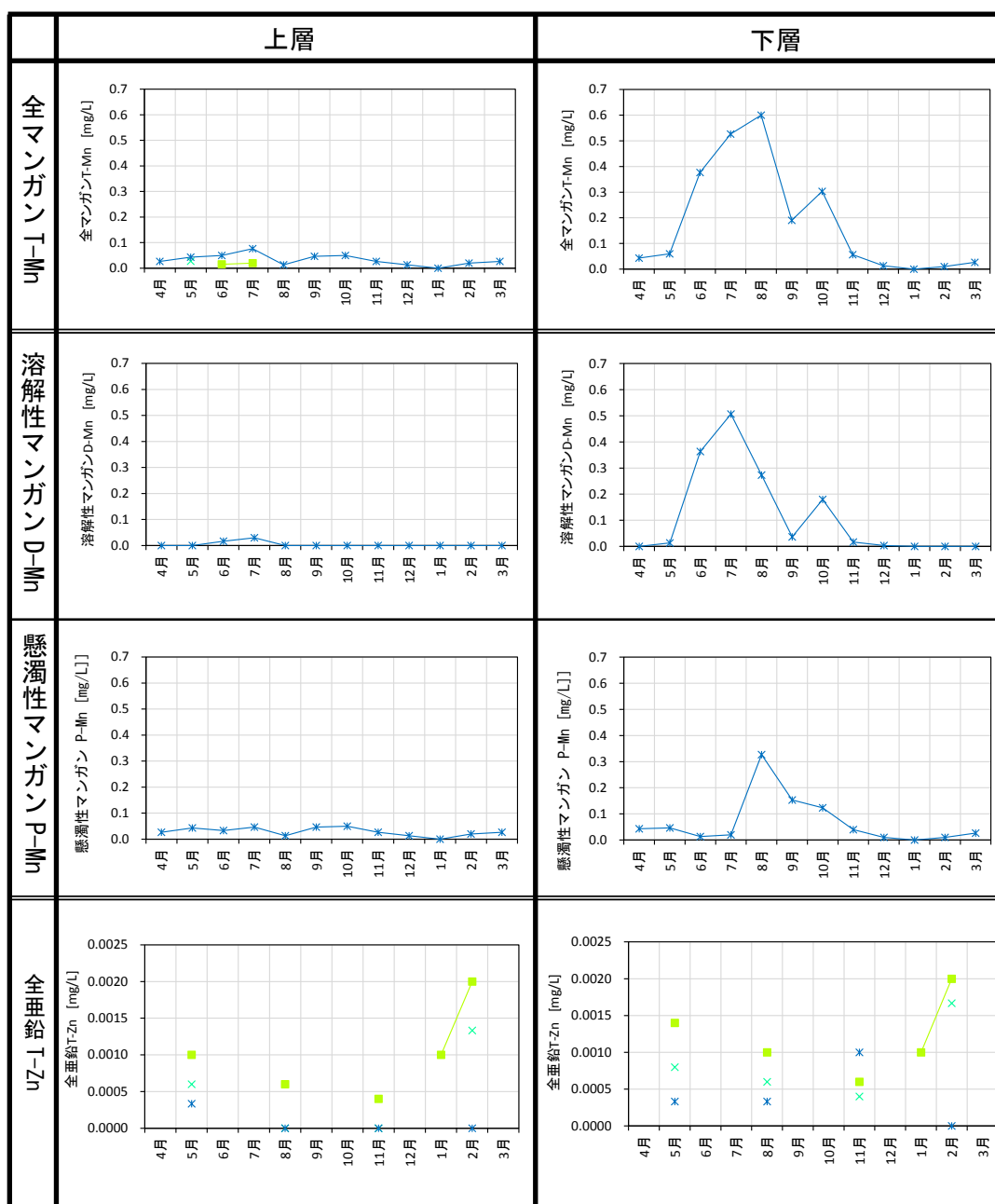


図 10.3.8.2 マンガン、亜鉛の月平均値の経月変化

10.3.9. ふっ素、ほう素、塩化物イオン

ふっ素、ほう素、塩化物イオンの年平均値の経年変化を図 10.3.9.1 に示す。また、ふっ素、ほう素、塩化物イオンの水質保全計画期間ごとの各月平均値の経月変化を図 10.3.9.2 に示す。

10.3.9.1. 経年変化

- ・ ふっ素の経年変化は、変動が大きく、傾向は不明であった。なお、上層と下層の濃度はほぼ同じであった。
- ・ ほう素の経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。また、上層と下層の濃度はほぼ同じであった。
- ・ 塩化物イオンの経年変化は、上層・下層共に、減少傾向であった。また、上層と下層の濃度はほぼ同じであった。

10.3.9.2. 経月変化

- ・ ふっ素、ほう素は、傾向が不明であった。
- ・ 塩化物イオンは、上層・下層共に、冬期に増加傾向であった。

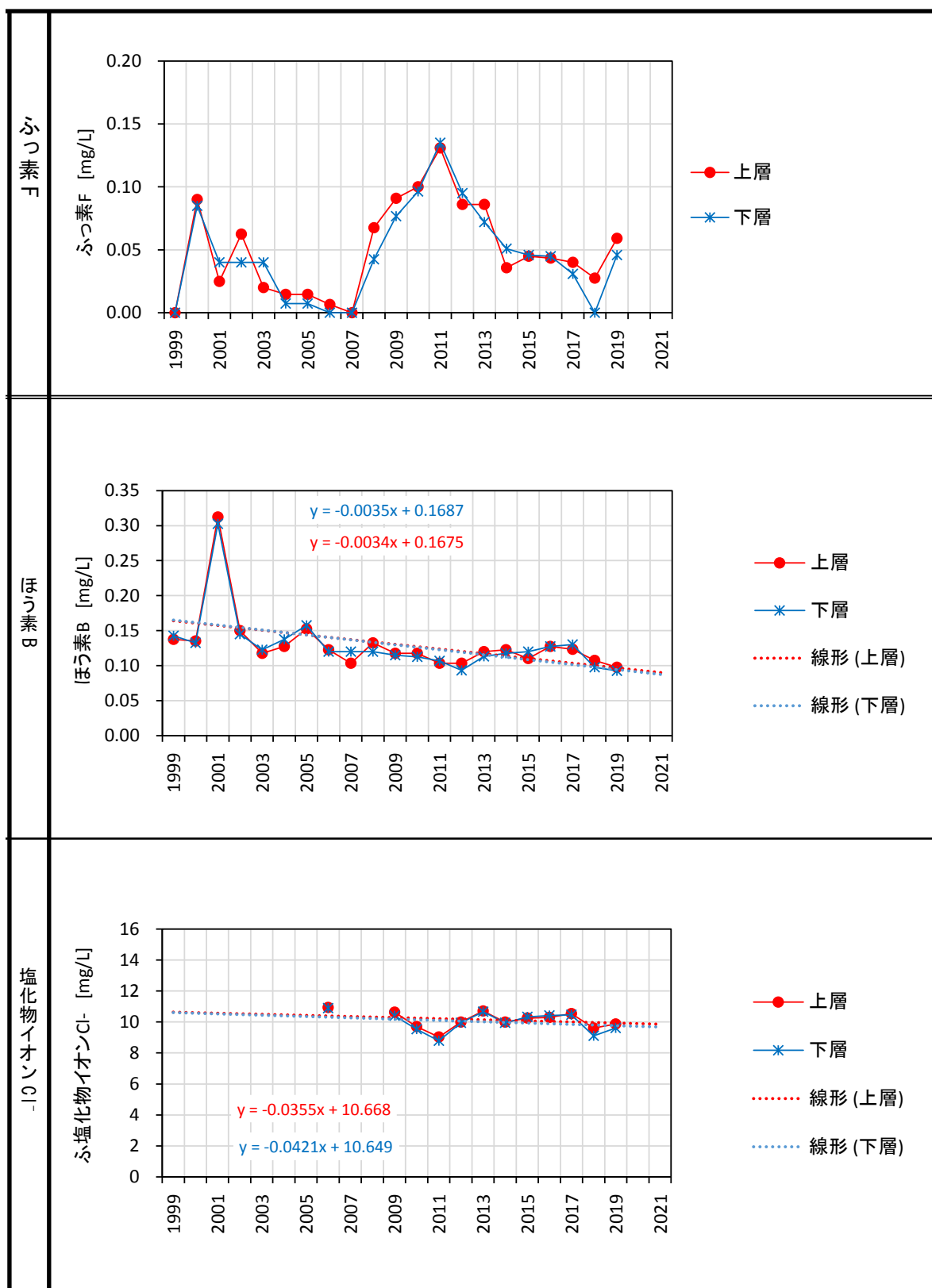
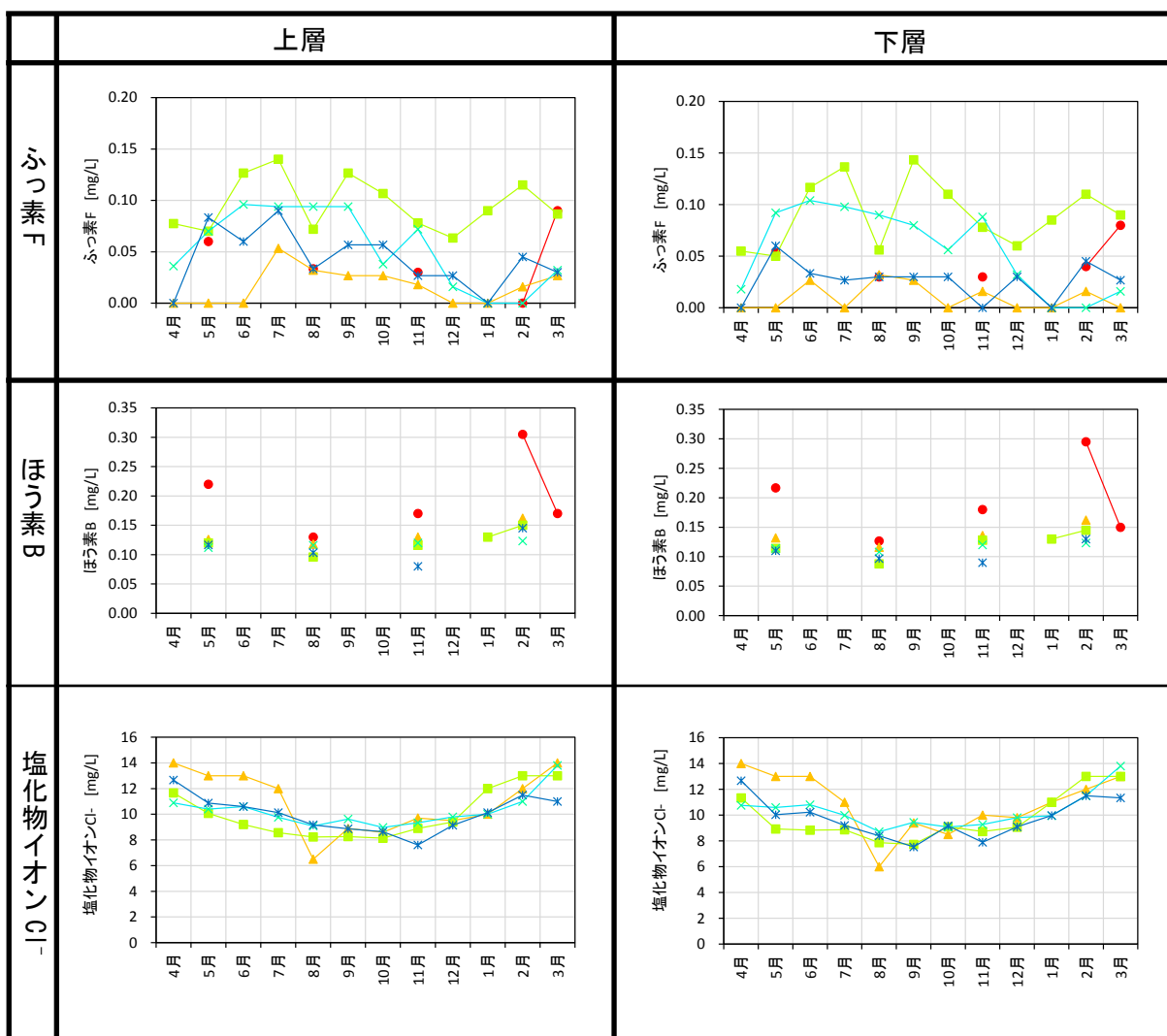


図 10.3.9.1 ふっ素、ほう素、塩化物イオンの年平均値の経年変化



- 第3期
(1999-2001)
- ▲ 第4期
(2002-2006)
- 第5期
(2007-2011)
- ✕ 第6期
(2012-2016)
- ✱ 第7期
(2017-2019)

図 10.3.9.2 ふっ素、ほう素、塩化物イオンの月平均値の経月変化

10.3.10. 各項目間の相関

各項目間の相関を調べるため、一部の項目について、相関を調べた。

対象とした項目は、全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素、全りん、TN/TP、クロロフィル a、COD、SS、透明度、透視度の 10 項目とした。第 7 期水質保全計画に相当する 2017 年度から 2019 年度の 3 年間の各月のデータを用いた。測定地点は、諏訪湖湖心上層で、午前の採水のみとした。時間遅れは考慮しなかった。

回帰式は、直線、指数、対数、累乗から相関係数が比較的大きなものを選んだ。なお、回帰式を変更しても相関係数があまり変わらない場合には、直線の回帰式を選んだ。対象となる項目の 2 項目の全ての組み合わせについて、同様の作業を行った。

散布図を図 10.3.10.1 に示す。

相関係数が 0.5 を超えた項目の組み合わせは、全窒素と溶解性窒素、全窒素と硝酸性窒素、溶解性窒素と硝酸性窒素、全窒素と全りん、COD とクロロフィル a、透視度と SS、透視度と透明度であった。

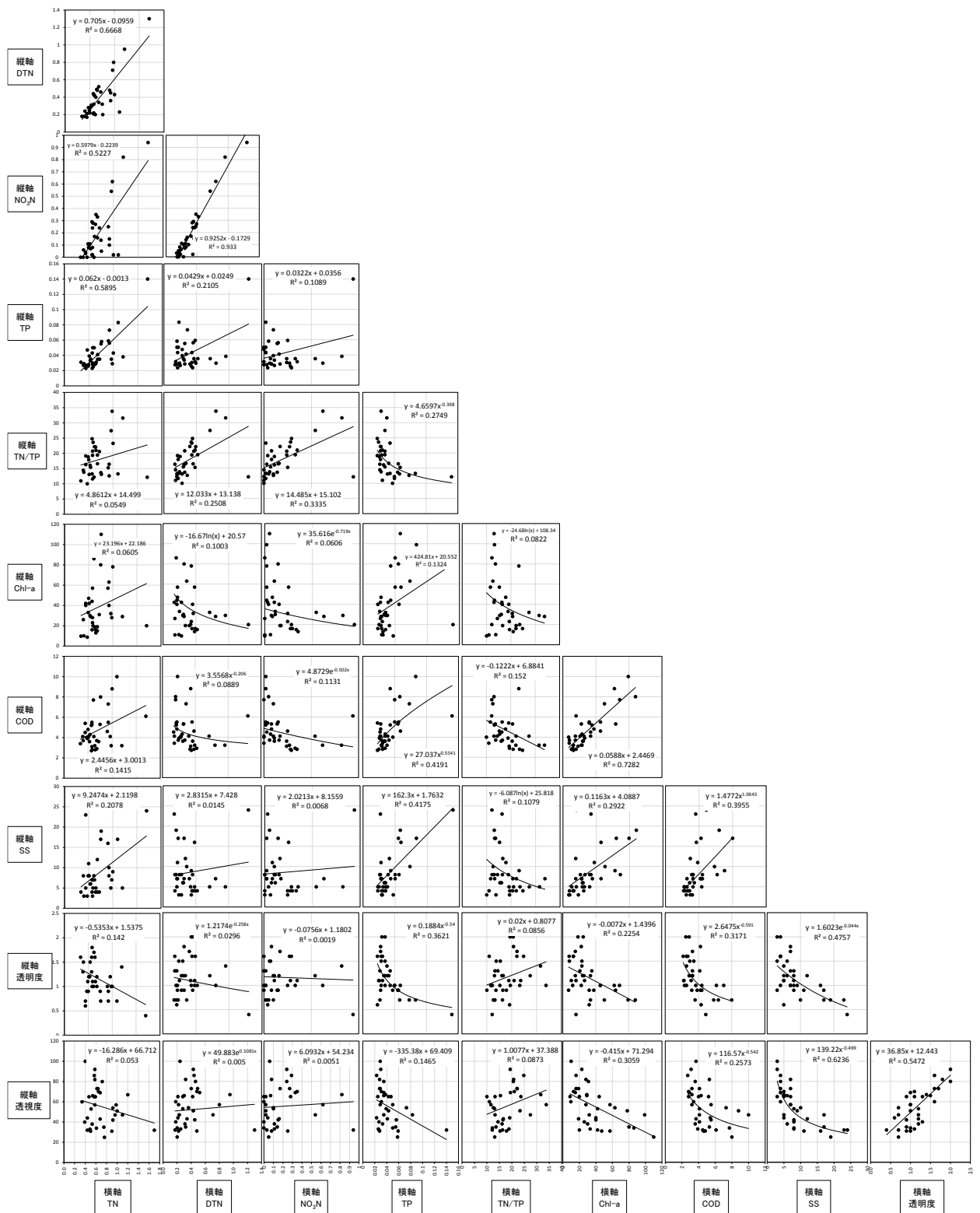


図 10.3.10.1 一部項目の相関

10.4. まとめ

1999 年度から 2019 年度までの 21 年間の公共用水域水質測定の結果を使用し、諏訪湖湖心の水質の長期的な傾向を解析した。

経年変化

- ・減少傾向であったのは、全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素、TN/TP、COD、溶解性 COD、懸濁性 COD、BOD、クロロフィル a、溶存酸素、pH、ほう素、塩化物イオンであった。
- ・ほぼ一定であったのは、アンモニア性窒素、懸濁性窒素、全りん、りん酸態りん、全りんとりん酸態りんの差、BOD/COD、上下層の溶存酸素濃度の差であった。
- ・増加傾向であったのは、溶解性窒素（非イオン）、透明度、気温、上下層の温度差、大腸菌群数、全マンガンであった。
- ・気温の上昇傾向により、夏期に諏訪湖内の温度成層が強固に形成されるようになってきており、上下層の水温差が広がり、かつ溶存酸素濃度の差が大きくなる期間が増加していると思われる。

上層と下層の関係

- ・上層に比べて下層の濃度等が低かったのは、懸濁性窒素、TN/TP、COD、溶解性 COD、懸濁性 COD・BOD、BOD/COD、クロロフィル a、水温、pH、溶存酸素であった。このうち、COD、溶解性 COD、懸濁性 COD、BOD、クロロフィル a、pH は、上層で増殖する植物プランクトンの影響を受ける項目と考えられる。
- ・上層と下層の濃度はほぼ同じだったのは、溶解性窒素（非イオン）、ふっ素、ほう素、塩化物イオンであった。
- ・上層よりも下層の濃度等が高かったのは、全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、全りん、りん酸態りん、全りんとりん酸態りんの差、SS、透視度、全マンガン、溶解性マンガン、懸濁性マンガン、全亜鉛、大腸菌群数であった。上層よりも下層の濃度が高かった原因としては、上部から沈降した懸濁物質由来、底質からの溶出、底質の巻き上げ、周辺の下層からの移入が考えられる。

季節ごとの変化等

- ・硝酸性窒素は、冬期に増加した。
- ・アンモニア性窒素、りん酸態りん、マンガンは、夏期に下層で生じる貧酸素状態によって底質から溶出していると考えられる。
- ・全窒素は、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、懸濁性窒素の濃度が上昇するため、春と夏～秋の 2 回増加した。
- ・懸濁性窒素、全りん、全りんとりん酸態りんの差、クロロフィル a、SS は春と夏～秋の 2 回増加する傾向を示し、透明度、透視度は春と夏～秋の 2 回減少する傾向を示した。COD、溶解性 COD、懸濁性 COD は夏に増加した。TOC、懸濁態 TOC の上層は、7 月と 10 月に増加した。上層の pH が、初夏から秋にかけて上昇した。これらの項目は、植物プランクトンの増殖により値が変化する項目である。
- ・水質中のりんのほとんどが、懸濁態で存在している。

- ・諏訪湖湖心では、全りんの濃度が 0.03mg/L を下回る時期が増えてきていることから、りんについて言えば徐々に富栄養状態から中栄養状態へと遷移しつつあると考えられる。
- ・溶存態 TOC、TOC/COD は、上層・下層共に、ほとんど同じ値であり、通年ほぼ一定の濃度であった。
- ・大腸菌群数は、初夏から秋にかけて増加した。
- ・塩化物イオンは、冬期に増加していた。

2017 年度から 2019 年度の諏訪湖湖心上層の午前の測定値について、一部項目の相関を調べたところ、相 相関係数が 0.5 を超えた項目の組み合わせは、全窒素と溶解性窒素、全窒素と硝酸性窒素、溶解性窒素と硝酸性窒素、全窒素と全りん、COD とクロロフィル a、透視度と SS、透視度と透明度であった。

本報告では、諏訪湖の水質の長期的な変化の方向性を見るために経時変化等を整理した。水質の変化の原因を特定するためには、さらなる整理と調査を行う必要がある。

第 11 章 総括

水大気環境課

令和 2 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 4 mg/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、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、生物量全体は減少に転じたが、珪藻類が優先する状況は続いた。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先した。令和 3 年に入ると、鞭毛藻類が増加した。鞭毛藻類が優先するのは過去にあまり見られない現象であった。

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、6 月下旬、11 月下旬、3 月中旬に回急増した。平成 30 年度、令和元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、3 年間で異なっていた。（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やや低く、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、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。

淡水シジミ生育試験では、淡水シジミの生残率は、覆砂区が対照区より高い傾向にあった。淡

水シジミの殻長の成長は、対照区が覆砂区より大きい傾向にあった。覆砂場所では淡水シジミの稚貝が生残できることが明らかになった。淡水シジミ生息調査では、対照区では淡水シジミは採取されなかった。覆砂区における淡水シジミの生息密度については、0+個体を中心に増減している。淡水シジミの生息密度は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。

底生生物調査では、採捕種数は浜崎地区の覆砂区および対照区は両区とも6種で同数であった。湖岸通り地区の覆砂区および対照区はそれぞれ5および7種と対照区の方が覆砂区より多かった。過去4年の調査結果から現在のところ、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た。(第3章)

ヒシ刈り取り場所のモニタリングからは、ヒシやクロモなどの水草の有無や種類が諏訪湖の水質に影響を与えているものと考えられた。また、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確認できた。ヒシの除去は物理的に窒素やリン等の湖外への排出になるため、水質改善効果が期待されるものの、本調査において目に見える形で大きく水質が改善されてきている状況は確認できなかった。一方で、水草に関しては、ヒシ刈りを行うことにより水草が生育し易くなる状況が確認されることから、ヒシ除去の効果が徐々に出てきたものと考えられた。(第4章)

ワカサギの資源量調査では、6月～11月の推定資源尾数は、約1,248～6,162万尾であった。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30年度に次いで2番目に小さかった。(第5章)

流入河川水量等調査では、塚間川・横河川・承知川の3河川に水位計を設置し測定を行った。HQ式を用いて3河川の流量を求め、各河川の日平均流量の経時変化や流量の月ごとの経時変化を示した。3河川の2020年度と209年度の流量の比率と流域の最高点の標高から流域の降水量の違いを比べた。2020年度の3河川の調査では7月の梅雨前線の影響、10月の秋雨前線と台風の影響による増水が確認できた。(第6章)

諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査では、ヒシの繁茂面積は167haで、令和元年より2ha増加した。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。過去7年間と比較して、クロモの分布面積は最大、エビモの面積は最小となった。

メガネサナエのモニタリングについて、羽化殻調査では、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。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。

湖畔の動植物モニタリング調査では湖畔の植生帯モニタリングと衛星画像による浮葉植物分布域の把握を行った。湖畔の植生帯モニタリングでは、まとまった抽水植物群落が限定的に確認され、その構成種はヨシ、マコモ、ミクリが広く確認された。衛星画像による浮葉植物分布域の把握では、衛星画像から水界内の確認や、浮葉植物群落面積の季節変化を把握した。水産試験場諏訪支場によるヒシ分布の現地調査の面積より衛星画像からの推定最大面積は14ha小さく、NDVIで水草とした閾値以

下の水域でヒシが生息していた可能性が考えられた。(第7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。本調査において重点的に実施した水生植物帯の調査結果から、全窒素含有量は湖内東部及び北部のヒシ繁茂域内で増加傾向にある(対照比 1~3 割増、2013 年比 1~4 割増、1980 年比 5~6 割増)ことが明らかとなった。また、諏訪湖内の SOD の広域的な実態を初めて把握し、地点変動、季節変動、年変動が確認され、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8章)

諏訪湖盆地の古環境変動史-堆積物コアの岩相-について、古環境のアーカイブとなる堆積物コアを諏訪湖南岸の陸上サイトで掘削し、このコアの岩相と堆積年代測定の結果を報告したものである。諏訪湖南岸の陸上において、深度 30.0 m のコア(ST2020 コア)を採取した。ST2020 コアの最深部の 14C 年代は、 22630 ± 60 yr BP であり、更新世末に相当し、粒度と土色の特徴から、ST2020 コアは 4 つの岩相ユニットに区分された。掘削サイト周辺における堆積環境が、河川といった砂礫を運搬する環境から、静水域の環境へと変化したのは、14C 年代でおよそ 13800 yr BP であると考えられた。(第9章)

諏訪湖の水質の長期的変化に関する整理については、1999 年度から 2019 年度までの 21 年間の公共用水域水質測定の結果を使用し、諏訪湖湖心の水質の長期的な傾向を解析した。減少傾向であったのは、全窒素、溶解性窒素、硝酸性窒素、TN/TP、COD、溶解性 COD、懸濁性 COD、BOD、クロロフィル a、溶存酸素、pH、ほう素、塩化物イオンであった。増加傾向であったのは、溶解性窒素(非イオン)、透明度、気温、上下層の温度差、大腸菌群数、全マンガンであった。その他上層及び下層や季節ごとの変化等について考察した。また、2017 年度から 2019 年度の諏訪湖湖心上層の午前の測定値について、一部項目の相関を調べたところ、相関係数が 0.5 を超えた項目の組み合わせは、全窒素と溶解性窒素、全窒素と硝酸性窒素、溶解性窒素と硝酸性窒素、全窒素と全りん、COD とクロロフィル a、透視度と SS、透視度と透明度であった。(第10章)

資料編

1	流入河川水量等調査（第6章）関係	
	資料1－1 測定地点	資－1
	資料1－2 河川断面	資－3
	資料1－3 推進と流量の測定結果	資－5
	資料1－4 水質測定結果	資－8
2	底質環境に関する調査（第8章）関係	
	資料2－1 底質測定データ＜春期＞	資－9
	資料2－2 底質測定データ＜秋期＞	資－10
	資料2－3 間隙水等測定データ＜春期＞	資－11
	資料2－4 間隙水等測定データ＜秋期＞	資－12

資料 1 - 1 測定地点

地点名 : 1 塚間川

測定対象 : 塚間川

測定地点 : 岡谷市湖畔3

塚間川左岸

緯度 : 36° 3' 30.84" 経度 : 138° 3' 25.56" (世界測地系)



地点名 : 2 横河川

測定対象 : 横河川

測定地点 : 岡谷市長地権現町4

横河川左岸

緯度 : 36° 3' 47.99" 経度 : 138° 4' 0.08" (世界測地系)



● 水位計 設置場所

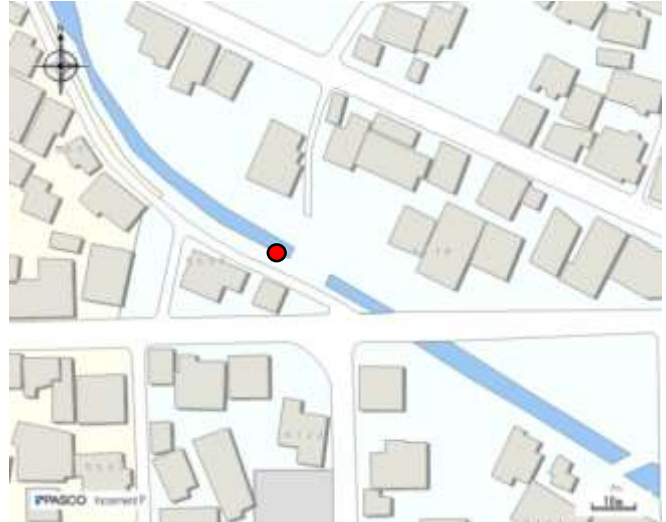
地点名 : 3 承知川

測定対象 : 承知川

測定地点 : 下諏訪町西豊

承知川右岸

緯度 : $36^{\circ} 4' 11.24''$ 経度 : $138^{\circ} 5' 28.26''$ (世界測地系)



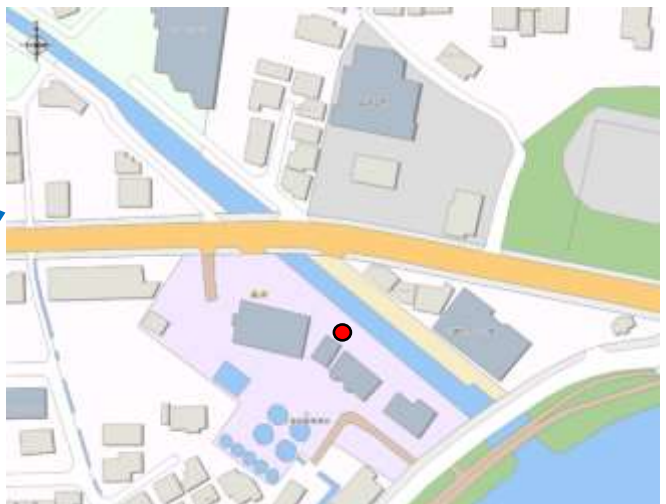
地点名 : 4 水産試験場諏訪支場

測定対象 : 大気圧 (水位計の圧力補正に使用)

測定地点 : 下諏訪町高浜

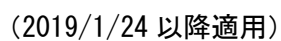
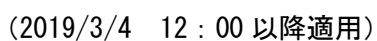
承知川右岸、水産試験場諏訪支場の建物裏

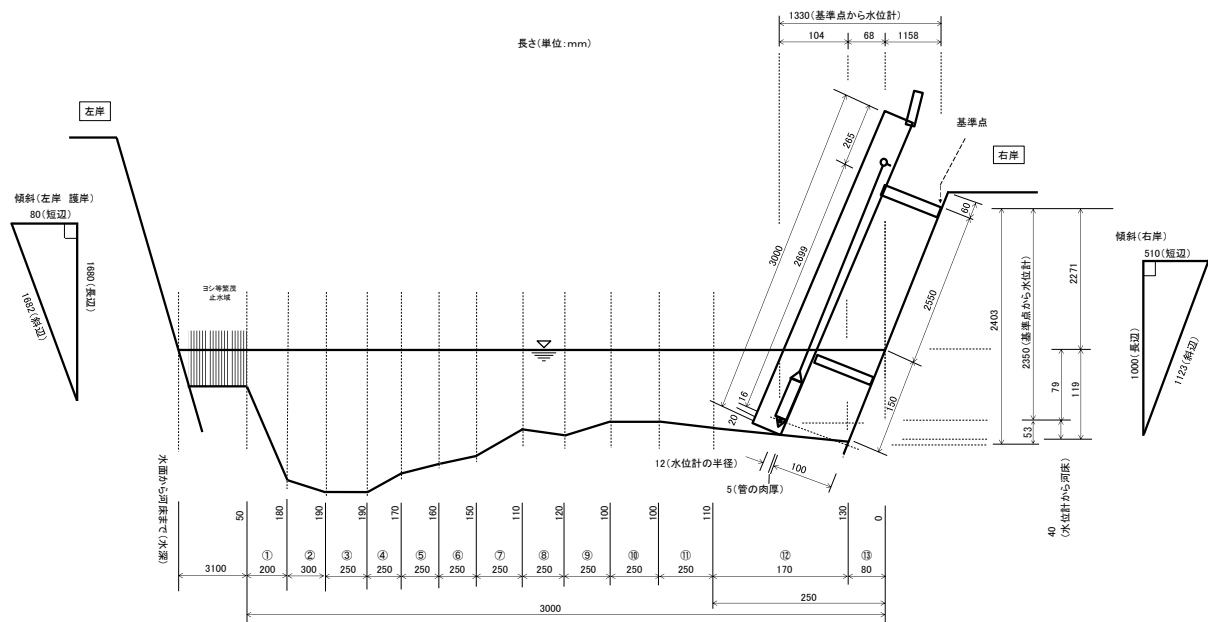
緯度 : $36^{\circ} 4' 2.93''$ 経度 : $138^{\circ} 5' 42.09''$ (世界測地系)



● 水位計 (大気圧測定用) 設置場所

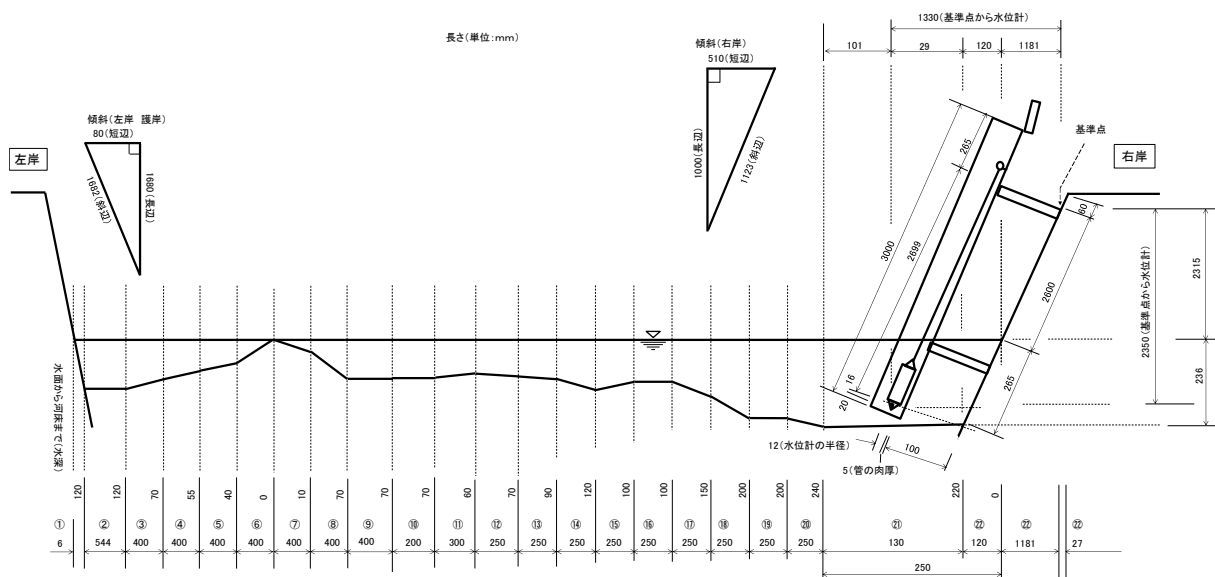
測定対象河川の水位計設置場所における河川断面図





(2019/1/24~2020/9/1 0:00 適用)

資料 2.3 水位計設置場所の河川断面図（3 承知川）



(2020/9/1 0:00 以降適用※)

※2020 年 8 月末から 9 月初旬にかけて、河床整備を行った。

工事期間が短期間であったため、工事期間中に特別な河川断面を適用せずに、9/1 で切り替えることにした。

資料 2.3 水位計設置場所の河川断面図（3 承知川）

資料 1－3 水深と流量の測定結果

資料 3.1 水深と流量（1 塚間川）

測定日	1 塚間川					
	現地調査		水位計関係			
	測定時刻	流量Q	測定時刻	水面～水位計	水位計～河床	水深H
yyyy/M/d	H:mm	m ³ /s	H:mm	m	m	m
2018/12/5	11:23	0.22622	10:47	0.213	0.039	0.252
2019/1/24	9:28	0.11567	9:17	0.174	0.039	0.213
2019/2/4	9:00	0.20215	9:00	0.212	0.039	0.251
2019/2/20	9:00	0.14466	9:00	0.188	0.039	0.227
2019/3/1	9:00	0.11712	9:00	0.184	0.039	0.223
2019/3/4	11:56	0.53744	11:30	0.335	0.039	0.374
2019/4/1	10:48	0.17606	11:00	0.189	0.066	0.255
2019/4/11	11:15	0.73453	11:00	0.373	0.066	0.439
2019/6/10	10:30	0.18987	10:00	0.218	0.066	0.284
2019/7/26	11:02	0.26672	11:00	0.262	0.066	0.328
2019/10/25	9:45	1.76072	10:00	0.586	0.066	0.652
2019/12/17	11:05	0.24813	11:00	0.274	0.066	0.340
2019/12/20	13:45	0.15151	13:30	0.241	0.066	0.307
2020/4/3	13:40	0.17185	13:30	0.227	0.066	0.293
2020/4/13	15:55	0.79820	16:00	0.377	0.066	0.443
2020/4/24	11:05	0.25470	10:30	0.279	0.066	0.345
2020/12/11	9:40	0.09468	9:30	0.202	0.066	0.268
2021/2/26	11:03	0.08891	10:00	0.188	0.066	0.254
2021/4/2	10:25	0.1171	10:00	0.217	0.066	0.283

資料 3.2 水深と流量（2 横河川）

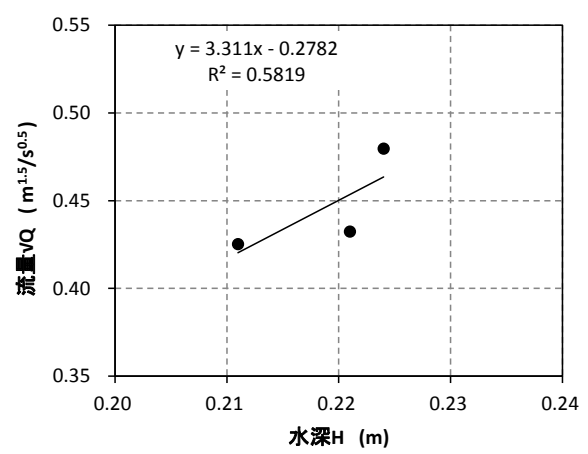
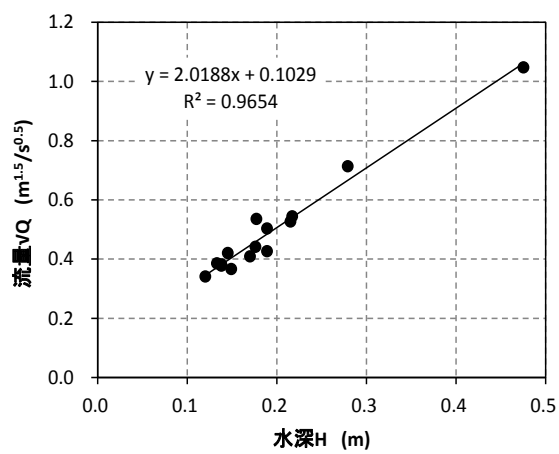
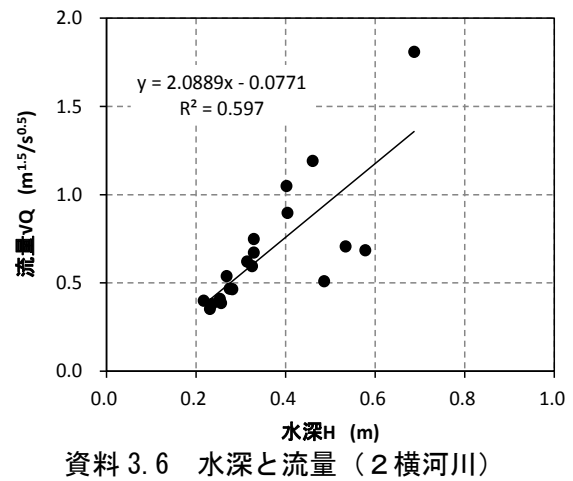
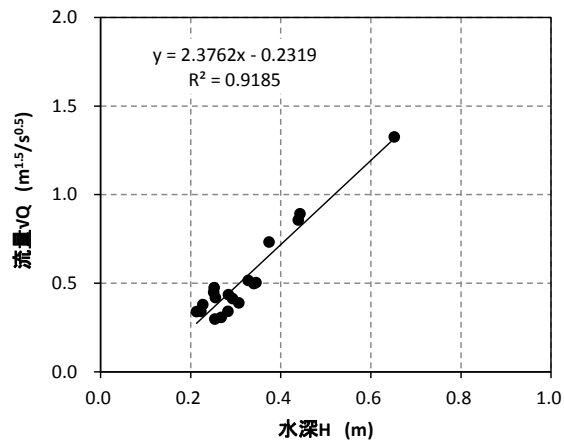
測定日	2 横河川					
	現地調査		水位計関係			
	測定時刻	流量Q	測定時刻	水面～水位計	水位計～河床	水深H
yyyy/M/d	H:mm	m ³ /s	H:mm	m	m	m
2018/12/5	12:30	0.3860	11:48	0.277	0.037	0.314
2019/1/24	11:10	0.1485	10:48	0.219	0.037	0.256
2019/2/4	9:15	0.2887	9:00	0.231	0.037	0.268
2019/2/20	9:15	0.2173	9:00	0.238	0.037	0.275
2019/3/1	9:10	0.1674	9:00	0.216	0.037	0.253
2019/3/4	13:36	0.3532	13:00	0.288	0.037	0.325
2019/4/1	11:38	0.1594	11:30	0.180	0.037	0.217
2019/4/11	10:13	0.1442	10:00	0.198	0.037	0.235
2019/6/10	11:16	0.1241	11:30	0.194	0.037	0.231
2019/7/26	12:13	1.4195	12:00	0.423	0.037	0.460
2019/10/25	10:10	3.2720	10:00	0.650	0.037	0.687
2019/12/17	11:25	0.4507	11:30	0.292	0.037	0.329
2019/12/20	13:07	0.2154	13:00	0.244	0.037	0.281
2020/4/3	12:50	0.8038	13:00	0.367	0.037	0.404
2020/4/13	16:10	0.5605	16:00	0.292	0.037	0.329
2020/4/24	12:28	1.0981	13:00	0.365	0.037	0.402
2020/12/11	11:20	0.4687	11:00	0.541	0.037	0.578
2021/2/26	12:11	0.2589	12:11	0.449	0.037	0.486
2021/4/2	11:30	0.4982	11:30	0.497	0.037	0.534

資料 3.3 水深と流量（3 承知川 2020/8/31 まで）

測定日	3 承知川					
	現地調査		水位計関係			
	測定時刻	流量Q	測定時刻	水面 ～水位計	水位計 ～河床	水深H
yyyy/M/d	H:mm	m ³ /s	H:mm	m	m	m
2018/12/5	13:10	0.1819	12:52	0.149	0.040	0.189
2019/1/24	12:16	0.1460	14:00	0.098	0.040	0.138
2019/2/4	9:25	0.1768	9:30	0.105	0.040	0.145
2019/2/20	9:30	0.1483	9:30	0.093	0.040	0.133
2019/3/1	9:25	0.1424	9:30	0.098	0.040	0.138
2019/3/4	14:21	0.2534	14:00	0.149	0.040	0.189
2019/4/1	13:25	0.1164	13:30	0.080	0.040	0.120
2019/4/11	—					
2019/6/10	12:03	0.2865	12:00	0.137	0.040	0.177
2019/7/26	13:44	0.5092	13:30	0.239	0.040	0.279
2019/10/25	10:30	1.0966	10:30	0.435	0.040	0.475
2019/12/17	11:40	0.1672	12:00	0.130	0.040	0.170
2019/12/20	11:09	0.1342	11:00	0.109	0.040	0.149
2020/4/3	11:10	0.1947	11:00	0.136	0.040	0.176
2020/4/13	16:25	0.2959	16:30	0.177	0.040	0.217
2020/4/24	13:48	0.2771	14:30	0.175	0.040	0.215

資料 3.4 水深と流量（3 承知川 2020/9/1 以降）

測定日	3 承知川					
	現地調査		水位計関係			
	測定時刻	流量Q	測定時刻	水面 ～水位計	水位計 ～河床	水深H
yyyy/M/d	H:mm	m ³ /s	H:mm	m	m	m
2020/12/11	13:25	0.2301	13:00	0.053	0.171	0.224
2021/2/26	13:25	0.1808	13:30	0.040	0.171	0.211
2021/4/2	13:10	0.1870	13:10	0.050	0.171	0.221



資料 3.9 各河川の HQ 式の係数

地点番号	測定河川	係数		決定係数	使用期間
		a	b	R ²	
1	塚間川	5.6464	-0.0976	0.9185	2020/4/1～2021/3/31
2	横河川	4.3634	-0.0369	0.5970	2020/4/1～2021/3/31
3	承知川	4.0756	0.0510	0.9654	2020/4/1～2020/8/31
		10.9625	-0.0840	0.5819	2020/9/1～2021/3/31
測定日		2018/12/5～2021/4/2			

資料 4 水質測定結果

調査日	状況	地点 番号	河川	調査 時刻	濃度				電気 伝導度 mS/m	pH	気温 ℃	水温 ℃	流量 m ³ /s	負荷量			
					COD mg/L	全窒素 (T-N) mg/L	全りん (T-P) mg/L	SS mg/L						COD g/s	全窒素 (T-N) g/s	全りん (T-P) g/s	SS g/s
2020/4/13	降雨時	1	塚間川	15:55	3.9	1.5	0.077	24	-	-	-	-	0.80	3.1	1.2	0.062	19
		2	横河川	16:10	1.1	2.0	0.028	8	-	-	-	-	0.56	0.59	1.1	0.016	4.5
		3	承知川	16:25	2.1	1.3	0.053	16	-	-	-	-	0.30	0.61	0.37	0.016	4.6
2020/4/24	平常時	1	塚間川	11:05	1.1	2.2	0.018	4	>100	20.4	7.7	15.3	0.25	0.29	0.55	0.0045	1.1
		2	横河川	12:28	0.9	1.4	0.029	7	>100	7.5	7.7	12.0	1.1	1.0	1.5	0.031	7.7
		3	承知川	13:48	1.0	1.3	0.030	5	>100	8.0	7.7	13.7	0.28	0.27	0.37	0.0084	1.3
2020/12/11	平常時	1	塚間川	9:40	1.1	1.6	0.088	<1	>100	20.2	8.0	6.1	0.095	0.11	0.15	0.0084	0.075
		2	横河川	11:20	1.1	0.53	0.007	1	>100	7.5	8.0	10.7	0.47	0.51	0.25	0.0032	0.49
		3	承知川	13:25	0.9	0.71	0.026	1	>100	10.0	7.8	10.8	0.23	0.21	0.16	0.0061	0.33
2021/2/26	平常時	1	塚間川	11:03	1.3	0.45	0.014	1	>100	25.6	7.5	3.1	0.089	0.12	0.040	0.0012	0.094
		2	横河川	12:11	1.4	0.38	0.026	7	>100	9.0	8.0	3.9	0.26	0.36	0.098	0.0067	1.7
		3	承知川	13:25	1.1	0.37	0.032	2	>100	10.4	7.9	2.9	0.18	0.19	0.067	0.0058	0.34

資料２－１ 底質測定データ【水生植物体の実態把握】＜春期＞

地点名	区分	深度 (cm)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	強熱減量 (%)	採泥日
ヒシ①	底質	0-2	5.4	1.9	17	2019/5/15
		2-4	5.4	1.9	17	
		4-6	5.3	1.9	17	
		6-8	5.2	1.9	17	
		8-10	5.2	1.9	17	
ヒシ①対照	底質	0-2	5.4	1.6	16	2019/5/15
		2-4	5.3	1.8	16	
		4-6	5.4	1.9	16	
		6-8	5.4	1.9	16	
		8-10	5.2	1.9	16	
ヒシ②	底質	0-2	7.2	1.8	18	2019/6/4
		2-4	7.2	1.8	18	
		4-6	7.2	1.8	18	
		6-8	7.2	1.8	18	
		8-10	7.1	1.8	18	
ヒシ②対照	底質	0-2	5.8	2.3	16	2019/6/4
		2-4	5.8	2.3	16	
		4-6	5.6	2.3	15	
		6-8	5.7	2.4	15	
		8-10	5.6	2.4	15	
ヒシ③	底質	0-2	6.0	1.2	16	2020/4/21
		2-4	5.7	1.3	16	
		4-6	5.5	1.3	16	
		6-8	4.8	1.2	15	
		8-10	4.8	1.1	15	
ヒシ③対照	底質	0-2	5.9	1.7	16	2020/4/21
		2-4	5.5	1.7	15	
		4-6	5.4	1.5	15	
		6-8	5.5	1.6	15	
		8-10	5.6	1.8	15	
ヒシ④	底質	0-2	4.4	1.3	14	2020/5/12
		2-4	4.5	1.3	14	
		4-6	4.2	1.1	14	
		6-8	4.3	1.1	13	
		8-10	4.4	1.2	13	
ヒシ④対照	底質	0-2	3.6	1.3	12	2020/5/12
		2-4	3.6	1.1	12	
		4-6	3.6	1.2	12	
		6-8	3.5	1.0	12	
		8-10	3.5	1.1	12	
クロモ⑤	底質	0-2	2.6	0.98	10	2020/5/26
		2-4	2.6	1.0	11	
		4-6	3.0	1.0	12	
		6-8	3.3	1.3	12	
		8-10	3.0	1.1	12	
クロモ⑤対照	底質	0-2	4.5	1.6	15	2020/5/26
		2-4	4.3	1.3	16	
		4-6	4.3	1.5	16	
		6-8	4.4	1.2	15	
		8-10	4.3	1.4	15	
クロモ⑥	底質	0-2	4.1	0.93	13	2020/6/9
		2-4	4.1	0.96	13	
		4-6	3.6	0.98	13	
		6-8	3.7	0.86	13	
		8-10	3.6	0.95	13	
クロモ⑥対照	底質	0-2	5.9	1.4	14	2020/6/9
		2-4	5.6	1.3	14	
		4-6	5.5	1.5	15	
		6-8	5.1	1.2	15	
		8-10	5.1	1.3	14	
自然植生区⑦	底質	0-2	0.37	1.1	2.4	2020/6/17
		2-4	0.30	1.2	2.3	
		4-6	0.28	1.2	2.2	
		6-8	0.29	1.2	2.3	
		8-10	0.26	1.2	2.4	
自然植生区⑦対照	底質	0-2	6.4	1.8	15	2020/6/17
		2-4	5.9	1.7	15	
		4-6	5.9	1.7	15	
		6-8	5.7	1.8	15	
		8-10	5.7	1.7	15	

資料２－２ 諏訪湖底質環境調査・底質測定データ【水生植物体の実態把握】＜秋期＞

地点名	区分	深度 (cm)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	強熱減量 (%)	採泥日
ヒシ①	底質	0-2	6.1	1.8	18	2019/10/16
		2-4	5.7	1.8	17	
		4-6	5.4	1.8	16	
		6-8	5.0	1.9	16	
		8-10	5.0	1.9	16	
ヒシ①対照	底質	0-2	5.1	1.8	15	2019/10/16
		2-4	4.9	1.8	15	
		4-6	5.0	1.8	15	
		6-8	5.1	1.8	15	
		8-10	5.1	1.8	15	
ヒシ②	底質	0-2	7.9	1.8	18	2019/10/30
		2-4	7.5	1.8	18	
		4-6	7.9	1.7	19	
		6-8	7.9	1.8	19	
		8-10	7.2	1.9	18	
ヒシ②対照	底質	0-2	5.6	3.0	15	2019/10/30
		2-4	5.7	2.7	15	
		4-6	5.7	3.0	15	
		6-8	5.8	2.9	15	
		8-10	5.8	2.9	15	
ヒシ③	底質	0-2	5.6	1.2	15	2020/10/6
		2-4	5.8	1.2	15	
		4-6	4.7	1.2	14	
		6-8	4.0	1.0	13	
		8-10	3.9	1.1	12	
ヒシ③対照	底質	0-2	6.4	1.7	16	2020/10/6
		2-4	6.1	1.6	15	
		4-6	5.8	1.7	15	
		6-8	5.5	1.7	15	
		8-10	5.5	1.5	14	
ヒシ④	底質	0-2	5.0	1.4	14	2020/10/20
		2-4	4.7	1.3	14	
		4-6	4.4	1.2	14	
		6-8	4.4	1.2	14	
		8-10	4.2	1.3	13	
ヒシ④対照	底質	0-2	3.4	1.1	12	2020/10/20
		2-4	3.4	1.1	11	
		4-6	3.2	1.0	11	
		6-8	3.1	1.0	11	
		8-10	3.3	0.98	11	
クロモ⑤	底質	0-2	3.1	1.4	13	2020/11/10
		2-4	3.1	1.3	12	
		4-6	3.4	1.2	13	
		6-8	3.3	1.2	13	
		8-10	3.2	1.2	13	
クロモ⑤対照	底質	0-2	4.5	1.7	16	2020/11/10
		2-4	4.4	1.6	15	
		4-6	4.4	1.7	16	
		6-8	4.4	1.6	16	
		8-10	4.1	1.7	15	
クロモ⑥	底質	0-2	3.7	1.1	12	2020/11/17
		2-4	3.5	1.2	12	
		4-6	3.6	1.1	12	
		6-8	3.7	1.2	12	
		8-10	3.6	1.1	12	
クロモ⑥対照	底質	0-2	6.2	1.5	15	2020/11/17
		2-4	5.4	1.5	14	
		4-6	5.0	1.5	14	
		6-8	5.1	1.4	14	
		8-10	4.9	1.5	14	
自然植生区⑦	底質	0-2	0.30	1.1	2.4	2020/11/24
		2-4	0.30	1.1	2.4	
		4-6	0.27	1.1	2.3	
		6-8	0.29	1.1	2.4	
		8-10	0.27	1.2	2.2	
自然植生区⑦対照	底質	0-2	7.1	1.9	16	2020/11/24
		2-4	6.2	1.8	15	
		4-6	5.9	1.8	15	
		6-8	5.8	1.8	15	
		8-10	5.6	1.7	15	

資料２－３ 間隙水等測定データ【水生植物体の実態把握】＜春期＞

地点名	区分	深度 (cm)	T-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	NO2-N (mg/L)	NH4-N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO4-P (mg/L)	採泥日
ヒシ①	直上水		0.20	0.12	<0.002	<0.02	0.013	<0.003	2019/5/15
	間隙水	0-2	0.44	0.10	<0.002	0.03	0.034	<0.003	
		2-4	1.2	0.12	0.004	0.33	0.030	0.004	
		4-6	2.2	0.12	0.008	0.96	0.041	0.015	
		6-8	3.0	0.12	0.009	1.1	0.058	0.029	
		8-10	3.1	0.13	0.012	1.1	0.065	0.035	
ヒシ①対照	直上水		0.21	<0.05	<0.002	<0.02	0.012	<0.003	2019/5/15
	間隙水	0-2	0.37	<0.05	<0.002	<0.02	0.034	<0.003	
		2-4	1.2	<0.05	0.004	0.46	0.030	0.010	
		4-6	1.8	<0.05	0.005	0.86	0.043	0.014	
		6-8	1.9	0.05	0.005	1.1	0.024	0.010	
		8-10	2.1	<0.05	0.007	1.1	0.024	0.010	
ヒシ②	直上水		0.41	<0.05	<0.002	0.13	0.026	0.012	2019/6/4
	間隙水	0-2	0.97	<0.05	<0.002	0.33	0.050	0.023	
		2-4	1.5	<0.05	0.005	0.51	0.14	0.087	
		4-6	1.9	<0.05	0.006	1.1	0.20	0.15	
		6-8	2.3	<0.05	0.005	1.8	0.20	0.14	
		8-10	2.5	<0.05	0.006	1.6	0.20	0.15	
ヒシ②対照	直上水		0.43	<0.05	<0.002	0.15	0.023	0.009	2019/6/4
	間隙水	0-2	1.1	<0.05	<0.002	0.47	0.073	0.041	
		2-4	1.7	<0.05	0.005	1.1	0.18	0.14	
		4-6	1.7	<0.05	0.005	1.3	0.17	0.14	
		6-8	1.8	<0.05	0.005	1.2	0.17	0.14	
		8-10	1.8	<0.05	0.005	1.1	0.16	0.13	
ヒシ③	直上水		0.32	0.17	0.003	0.04	0.006	0.003	2020/4/21
	間隙水	0-2	1.4	<0.05	0.003	0.85	0.026	0.005	
		2-4	2.7	<0.05	0.004	1.6	0.037	0.021	
		4-6	2.8	<0.05	0.005	1.3	0.037	0.024	
		6-8	2.0	<0.05	0.005	0.77	0.037	0.026	
		8-10	1.5	<0.05	0.005	0.51	0.049	0.020	
ヒシ③対照	直上水		0.37	0.20	0.003	<0.02	0.009	<0.003	2020/4/21
	間隙水	0-2	1.1	<0.05	0.004	0.58	0.056	0.007	
		2-4	2.0	<0.05	0.005	0.76	0.044	0.014	
		4-6	1.8	<0.05	0.006	0.64	0.027	0.008	
		6-8	1.7	<0.05	0.006	0.60	0.030	0.010	
		8-10	1.9	<0.05	0.007	0.55	0.035	0.016	
ヒシ④	直上水		0.58	0.23	0.007	0.16	0.009	<0.003	2020/5/12
	間隙水	0-2	3.1	<0.05	0.003	1.9	0.12	0.069	
		2-4	4.4	<0.05	0.004	3.2	0.21	0.17	
		4-6	4.6	<0.05	0.004	2.8	0.11	0.080	
		6-8	4.8	<0.05	0.004	1.8	0.075	0.051	
		8-10	4.4	<0.05	0.004	3.3	0.064	0.043	
ヒシ④対照	直上水		0.58	0.24	0.006	0.09	0.010	<0.003	2020/5/12
	間隙水	0-2	2.0	<0.05	0.003	1.5	0.051	0.015	
		2-4	4.1	<0.05	0.005	2.9	0.18	0.12	
		4-6	4.2	<0.05	0.004	3.4	0.17	0.12	
		6-8	4.5	<0.05	0.004	3.4	0.11	0.094	
		8-10	4.4	<0.05	0.005	3.4	0.099	0.063	
クロモ⑤	直上水		0.66	0.36	0.009	0.07	0.017	0.005	2020/5/26
	間隙水	0-2	1.8	<0.05	0.005	1.1	0.069	0.024	
		2-4	4.0	<0.05	0.004	2.4	0.063	0.026	
		4-6	4.6	<0.05	0.005	3.8	0.047	0.017	
		6-8	5.8	<0.05	0.008	4.3	0.052	0.025	
		8-10	6.3	<0.05	0.007	4.6	0.038	0.014	
クロモ⑤対照	直上水		0.74	0.42	0.009	0.07	0.018	0.007	2020/5/26
	間隙水	0-2	2.7	<0.05	0.008	1.1	0.052	0.016	
		2-4	3.0	<0.05	0.004	1.9	0.050	0.025	
		4-6	3.2	<0.05	0.004	2.4	0.028	0.021	
		6-8	3.0	<0.05	0.005	2.3	0.038	0.016	
		8-10	2.9	<0.05	0.006	1.9	0.038	0.017	
クロモ⑥	直上水		0.45	0.16	0.007	0.10	0.014	0.004	2020/6/9
	間隙水	0-2	1.1	<0.05	0.003	0.43	0.064	0.015	
		2-4	3.7	<0.05	0.005	2.7	0.10	0.073	
		4-6	4.8	<0.05	0.006	2.7	0.10	0.084	
		6-8	4.5	<0.05	0.005	3.3	0.077	0.059	
		8-10	4.1	<0.05	0.005	2.8	0.064	0.041	
クロモ⑥対照	直上水		0.47	0.19	0.008	0.07	0.013	0.004	2020/6/9
	間隙水	0-2	1.9	<0.05	0.004	0.96	0.035	0.015	
		2-4	4.2	<0.05	0.006	2.5	0.20	0.18	
		4-6	4.7	<0.05	0.006	3.0	0.18	0.17	
		6-8	4.1	<0.05	0.005	2.3	0.13	0.12	
		8-10	3.0	<0.05	0.005	1.9	0.086	0.07	
自然植生区⑦	直上水		0.54	0.32	0.009	0.17	0.008	<0.003	2020/6/17
	間隙水	0-2	-※	-	-	-	-	-	
		2-4	-	-	-	-	-	-	
		4-6	-	-	-	-	-	-	
		6-8	-	-	-	-	-	-	
		8-10	-	-	-	-	-	-	
自然植生区⑦対照	直上水		0.76	0.35	0.009	0.28	0.027	<0.003	2020/6/17
	間隙水	0-2	2.1	<0.05	0.005	1.1	0.068	0.021	
		2-4	2.6	<0.05	0.006	1.0	0.25	0.21	
		4-6	2.9	<0.05	0.006	1.3	0.25	0.22	
		6-8	2.3	<0.05	0.006	1.2	0.25	0.21	
		8-10	2.1	<0.05	0.008	1.0	0.21	0.17	

※自然植生区⑦の間隙水：砂質のため間隙水が採取できず欠測

資料 2-4 間隙水等測定データ【水生植物体の実態把握】＜秋期＞

地点名	区分	深度 (cm)	T-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	NO2-N (mg/L)	NH4-N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO4-P (mg/L)	採泥日
ヒシ①	直上水		1.2	0.41	0.032	0.63	0.050	0.032	2019/10/16
	間隙水	0-2	1.7	<0.05	0.002	1.4	0.049	0.010	
		2-4	2.7	<0.05	0.005	1.8	0.065	0.039	
		4-6	4.8	<0.05	0.009	2.5	0.11	0.069	
		6-8	5.3	<0.05	0.010	2.7	0.048	0.017	
		8-10	5.5	<0.05	0.012	2.4	0.060	0.015	
ヒシ①対照	直上水		1.0	0.42	0.016	0.41	0.048	0.017	2019/10/16
	間隙水	0-2	0.81	<0.05	0.003	0.69	0.038	0.010	
		2-4	1.1	<0.05	0.004	0.79	0.073	0.018	
		4-6	1.3	<0.05	0.005	0.86	0.077	0.062	
		6-8	1.1	<0.05	0.005	0.83	0.10	0.078	
		8-10	1.0	<0.05	0.005	0.77	0.085	0.065	
ヒシ②	直上水		0.87	0.44	0.012	0.24	0.038	0.012	2019/10/30
	間隙水	0-2	0.62	<0.05	0.003	0.40	0.043	0.007	
		2-4	0.92	<0.05	0.003	0.60	0.067	0.027	
		4-6	1.1	<0.05	0.003	0.62	0.082	0.041	
		6-8	1.4	<0.05	0.003	0.58	0.083	0.031	
		8-10	1.4	<0.05	0.004	0.67	0.11	0.054	
ヒシ②対照	直上水		0.90	0.58	0.013	0.18	0.034	0.014	2019/10/30
	間隙水	0-2	0.51	<0.05	0.003	0.37	0.038	0.009	
		2-4	0.64	<0.05	0.003	0.43	0.034	0.013	
		4-6	0.65	<0.05	0.005	0.46	0.044	0.024	
		6-8	0.64	<0.05	0.003	0.49	0.049	0.030	
		8-10	0.72	<0.05	0.005	0.55	0.053	0.032	
ヒシ③	直上水		0.23	0.06	0.002	0.04	0.007	<0.003	2020/10/6
	間隙水	0-2	0.46	<0.05	0.002	0.21	0.040	0.007	
		2-4	1.4	<0.05	0.003	0.75	0.065	0.031	
		4-6	2.2	<0.05	0.005	1.2	0.11	0.077	
		6-8	3.0	<0.05	0.006	1.8	0.13	0.095	
		8-10	3.2	<0.05	0.004	2.1	0.11	0.069	
ヒシ③対照	直上水		0.64	<0.05	0.001	0.31	0.018	0.010	2020/10/6
	間隙水	0-2	3.4	<0.05	0.003	2.2	0.053	0.013	
		2-4	3.1	<0.05	0.004	2.1	0.15	0.11	
		4-6	3.4	<0.05	0.003	2.6	0.20	0.19	
		6-8	4.0	0.05	0.004	3.2	0.21	0.19	
		8-10	4.0	0.06	0.003	3.3	0.21	0.18	
ヒシ④	直上水		0.78	0.28	0.012	0.19	0.009	0.003	2020/10/20
	間隙水	0-2	1.8	<0.05	0.002	1.1	0.037	0.013	
		2-4	4.8	<0.05	0.009	2.2	0.11	0.089	
		4-6	5.0	<0.05	0.008	2.3	0.11	0.081	
		6-8	5.7	<0.05	0.011	2.3	0.11	0.086	
		8-10	4.9	<0.05	0.009	2.1	0.087	0.047	
ヒシ④対照	直上水		0.58	0.38	0.009	0.03	0.009	0.004	2020/10/20
	間隙水	0-2	0.80	<0.05	0.004	0.37	0.039	0.005	
		2-4	1.5	<0.05	0.004	0.89	0.071	0.032	
		4-6	2.2	<0.05	0.005	1.3	0.14	0.12	
		6-8	2.4	<0.05	0.006	1.4	0.20	0.16	
		8-10	2.8	<0.05	0.007	1.6	0.23	0.20	
クロモ⑤	直上水		0.56	0.36	0.006	0.04	0.017	0.006	2020/11/10
	間隙水	0-2	0.94	<0.05	0.003	0.38	0.075	0.019	
		2-4	1.6	<0.05	0.003	0.72	0.087	0.029	
		4-6	2.1	<0.05	0.005	0.92	0.12	0.065	
		6-8	2.7	<0.05	0.006	1.2	0.20	0.11	
		8-10	3.1	<0.05	0.008	1.3	0.21	0.12	
クロモ⑤対照	直上水		0.52	0.37	0.004	<0.02	0.018	0.007	2020/11/10
	間隙水	0-2	0.65	<0.05	0.005	0.15	0.11	0.015	
		2-4	0.81	<0.05	0.005	0.25	0.21	0.025	
		4-6	1.2	<0.05	0.006	0.38	0.17	0.050	
		6-8	1.6	<0.05	0.008	0.41	0.19	0.093	
		8-10	2.0	<0.05	0.010	0.54	0.25	0.13	
クロモ⑥	直上水		0.36	0.15	0.005	0.05	0.017	0.006	2020/11/17
	間隙水	0-2	0.89	<0.05	0.003	0.25	0.048	0.007	
		2-4	1.5	<0.05	0.005	0.48	0.073	0.020	
		4-6	1.7	<0.05	0.006	0.52	0.085	0.034	
		6-8	1.8	<0.05	0.006	0.62	0.11	0.053	
		8-10	2.0	<0.05	0.007	0.65	0.14	0.058	
クロモ⑥対照	直上水		0.36	0.14	0.003	0.05	0.016	0.006	2020/11/17
	間隙水	0-2	1.1	<0.05	0.007	0.24	0.075	0.006	
		2-4	1.8	<0.05	0.006	0.55	0.14	0.055	
		4-6	1.8	<0.05	0.007	0.54	0.15	0.072	
		6-8	1.5	<0.05	0.009	0.48	0.16	0.080	
		8-10	1.5	<0.05	0.009	0.47	0.19	0.087	
自然植生区⑦	直上水		0.40	0.16	0.005	0.04	0.013	0.004	2020/11/24
	間隙水	0-2	-※	-	-	-	-	-	
		2-4	-	-	-	-	-	-	
		4-6	-	-	-	-	-	-	
		6-8	-	-	-	-	-	-	
		8-10	-	-	-	-	-	-	
自然植生区⑦対照	直上水		0.45	0.14	0.004	0.09	0.013	0.004	2020/11/24
	間隙水	0-2	1.8	<0.05	0.002	0.63	0.042	0.005	
		2-4	3.9	<0.05	0.007	1.5	0.21	0.15	
		4-6	3.6	<0.05	0.006	1.8	0.24	0.19	
		6-8	3.5	<0.05	0.005	1.9	0.26	0.20	
		8-10	3.7	<0.05	0.005	2.0	0.31	0.25	

※自然植生区⑦の間隙水：砂質のため間隙水が採取できず欠測