

底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する 水質保全対策の手引き

【資料集】

令和2年3月

環境省 水・大気環境局 水環境課

資料集目次

1. 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例	資料集 1-1
1.1 秋田県八郎湖(高濃度酸素水の底層への供給)	資料集 1- 1
1.2 長野県諏訪湖(底質改善、水草の刈り取り等)	資料集 1-46
1.3 鳥取県湖山池(流動促進装置による上下水塊の攪拌)	資料集 1-83
1.4 島根県宍道湖(水草の刈り取り)	資料集 1-97
2. 数値モデルによる要因解析と保全対策の検討の事例	資料集 2-1
2.1 底層溶存酸素量	資料集 2- 1
2.2 沿岸透明度.....	資料集 2-91
3. 対策技術の事例.....	資料集 3-1
3.1 底層溶存酸素量	資料集 3- 1
3.2 沿岸透明度.....	資料集 3- 9
3.3 参考文献.....	資料集 3-16

1. 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の事例

環境省は「湖沼溶存酸素量及び沿岸透明度改善モデル事業」として、行政機関等に委託(公募)して平成26年度～令和元年度に表1-1に示す4湖沼にかかる事業を実施した。

表 1-1 湖沼底層溶存酸素量改善モデル事業の実施状況

行政機関等・湖沼	本手引きでの適用		対策の概要		ページ
	湖沼のタイプ	対策の方針 (【詳細版】表2-2に対応)			
秋田県 八郎湖	浅い湖	湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	底層への酸素・空気供給	高濃度酸素水の湖内底層への供給	1-2
長野県 諏訪湖	浅い湖	内部負荷の削減	底質改善	覆砂	1-46
		生態系機能を活用した水質浄化	二枚貝等による浄化とその取り上げ	シジミの放流	
		水草の過剰な繁茂の抑制	水草の刈り取り	ヒシの適正管理	
鳥取県 湖山池	汽水湖	湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	湖水の混合	流動促進装置による上下水塊の攪拌	1-83
島根県 宍道湖	汽水湖	水草の過剰な繁茂の抑制	水草の刈り取り	水草の繁茂エリアでの一定範囲の水草除去	1-97

1.1 秋田県八郎湖（高濃度酸素水の底層への供給）

1) 事業概要と期待される効果

(1) 事業概要

表 1-2 秋田県八郎湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	八郎湖底層溶存酸素等改善対策検証事業
事業の目的	八郎湖の水質及び底質の改善を図り、浅い湖沼における効果的な湖内浄化対策モデルを構築する。
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度酸素水を湖内底層へ供給し、貧酸素化の解消・抑止を図るとともに、水質及び底質等の改善効果について検証する。 ・八郎湖の底層溶存酸素量や水質及び底質の改善を図り、局部的に深い湖沼域における効果的な湖内浄化対策モデルの構築を行う。
対象年	平成 27 年度、平成 28 年度、平成 29 年度：大久保湾 平成 30 年度、令和元年度：西部承水路
事業実施前の湖沼の状況	<p>①干拓事業完了後、徐々に富栄養化が進行し、第一次、第二次湖沼水質保全計画により各種水質保全対策を推進しているが、水質環境基準を達成していない状況が継続している。</p> <p>②夏期には底層が貧酸素化し、底質からの栄養塩類の溶出が、水質悪化、アオコ発生の一因となっている。</p> <p>③近年はアオコが大量に発生するなど、水質汚濁の問題が顕在化し、H24 には COD(年平均値)が全国でワースト 4 位となった。</p>
事業実施場所	<p>(1)八郎湖調整池南東部の大久保湾</p> <p>①大きな流入河川がなく、調整池の中でも特に水の停滞が著しい水域であり、夏季にはアオコの発生や滞留が生じやすい。</p> <p>②大久保湾の周辺は水田(周辺干拓地)が多い。</p> <p>③湖底には、底泥(ヘドロ状)の堆積が著しい。</p> <p>④過去の調査で底層の貧酸素化が確認され、底泥からの栄養塩類の溶出が水質悪化やアオコ発生・増殖の一因と考えられる。</p> <p>(2)西部承水路</p> <p>①八郎湖の中でも水の停滞が著しく水質が悪い水域である。</p> <p>②平成 12 年度から流動化事業を実施した結果水質の改善傾向がみられるが、依然として他の水域よりも水質が悪い状況にある。</p> <p>③対策の実施箇所は水深約 6m の浚渫くぼ地(西部承水路の平均水深 1.7m)で、底層の貧酸素化が確認されている。</p>



(2) 対策の内容と期待される効果

a) 対策の内容

大久保湾湖岸または西部承水路湖岸に高濃度酸素水供給装置を設置し、大気中から取り込んだ酸素を溶解させた水（以下、高濃度酸素水）を湖内底層に供給し、貧酸素化の解消・抑制を図る。

表 1-3 高濃度酸素水供給装置の概要(平成 29 年度の例)

項目	内容
能力	吐出水 DO 30～40 mg/L、吐出水量 約 3.0 m ³ /min
稼働期間	6月1日～11月30日(24時間稼働) ※メンテナンスによる停止期間あり
装置寸法	高濃度酸素水溶解装置 φ910×H2,795mm プレハブ小屋(コンプレッサー等収納) 2.4×5.4m
使用電力容量	22kW(装置一式)

b) 期待される効果

高濃度酸素水の供給で貧酸素化を解消・抑止し、底質からの栄養塩類の溶出が抑制されるとともに、好気的環境の維持により底質の改善も期待できる。また、栄養塩類の溶出抑制に伴い植物プランクトン（アオコ）の増殖抑制も期待できる。

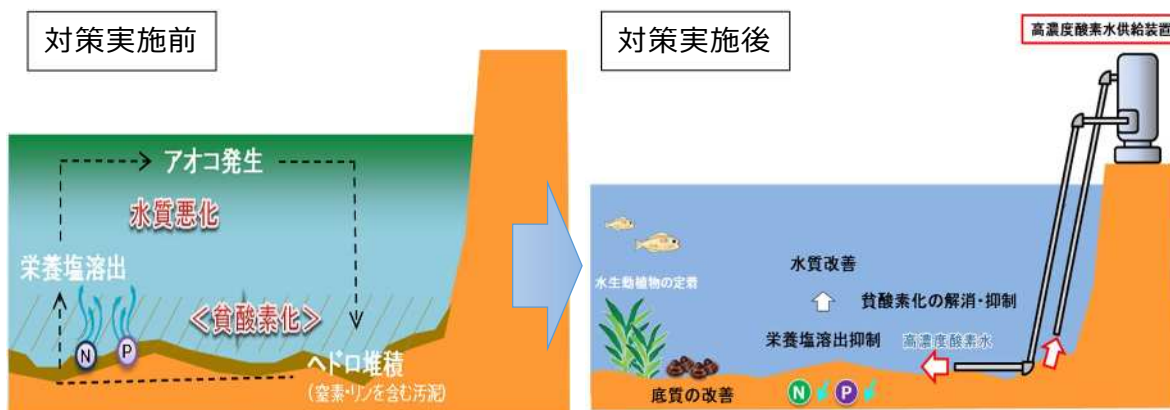


図 1-1 期待される効果のイメージ

2) 効果を把握するための調査（大久保湾）

(1) 調査計画

a) 調査方針

高濃度酸素水供給による貧酸素化の解消・抑止効果や水質・底質の改善効果について、試験区及び対照区、表層及び下層で調査を実施し、比較・検討を実施する。

併せて、アオコの発生状況等についても比較・検討する。

b) 調査地点

試験区：St. 1-0 試験区飯塚（高濃度酸素水供給地点）（H28年度のSt. 1）

対照区：St. 3 調整池東部（H28年度のSt. 2）

St. 4 調整池大久保湾（H28年度のSt. 3）

※いずれも表層及び下層（湖底から50cm程度）



図 1-2 調査地点図

c) 調査内容

表 1-4 調査内容

調査区分	①D0改善範囲調査	②水質調査	③底質調査	④アオコ発生状況調査
調査地点	試験区及び対照区3箇所及び供給地点周辺	試験区及び対照区3箇所	試験区及び対照区3箇所	試験区及び対照区ほか
調査回数 調査時期	H29:12回(6~11月) H28:10回(6~11月) H27:11回(7~11月)	H29:12回(6~11月) H28:10回(6~11月) H27:5回(7~11月)	H29:6回(6~11月) H28:6回(6~11月) H27:3回(7,8,11月)	H29:12回(6~11月) H28:10回(7~11月) H27:10回(7~11月)
調査項目	気温、水温、pH、透視度、透明度、D0、酸化還元電位(透明度、透視度は表層のみ) (供給地点周辺での調査は、供給地点から200mの範囲内とし、水温及びD0の鉛直分布(50cm毎)を測定)	SS、COD、TOC、DOC、T-N、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、T-P、PO ₄ -P、クロロフィルa、溶解性鉄、溶解性マンガン	全炭素含量、含水率、強熱減量、CODsed、T-N、T-P、色相、臭気、泥種、酸化還元電位、間隙水(pH、COD、DOC、d-T-N、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、d-T-P、PO ₄ -P、溶解性鉄、溶解性マンガン) その他、St.1-0とSt.4で酸素消費速度試験を実施	ラン藻類の優占種



水質調査



底質調査



アオコ発生状況調査

図 1-3 調査実施状況

(2) 主な調査結果と考察

a) 装置の稼働状況

平成27年7月16日～平成29年11月30日(868日のうち稼働465日)

- 平成27年7月16日～11月30日(138日のうち稼働112日)
- 平成28年6月1日～11月30日(183日のうち稼働171日)
- 平成29年6月1日～11月30日(183日のうち稼働182日)

※機器類調整、湖内配管破損、台風通過により稼働停止期間が発生。

b) 調査の実施状況

表 1-5 (1) 調査の実施状況(H29)

調査日	DO濃度改善範囲調査		水質調査	底質調査	アオコ発生 状況調査	備考
	定点3箇所	周辺調査	定点3箇所	定点3箇所	定点3箇所	
5月23日	※	※	※	※		装置稼働前調査
6月12日	※	※				
6月16日	○	○	○	○	○	
6月26日	○	○	○		○	
7月6日	○	○	○	○	○	
7月19日	※	※				
7月20日	○	○	○		○	
8月11日	○	○	○	○	○	
8月21日	※	※				
8月23日	○	○	○		○	
9月6日	○	○	○	○	○	
9月13日	※	※				
9月22日	○	○	○		○	
10月5日	○	○	○	○	○	
10月19日	○	○	○		○	
11月2日	※	※				装置停止時調査
11月8日	○	○	○	○	○	
11月22日	○	○	○		○	
実施回数	12	12	12	6	12	

※は、秋田県が独自に実施したものであり、調査回数には計上しない。

表 1-5 (2) 調査の実施状況(H28)

調査日	DO濃度改善範囲調査		水質調査	底質調査	アオコ発生 状況調査	備考
	定点3箇所	周辺調査	定点3箇所	定点3箇所	定点3箇所	
5月27日	※	※	※	※		装置稼働前調査
6月14日	※	※	※			
6月28日	○	○	○	○	○	
7月9日	○	○	○		○	
7月15日	※	※				
7月26日	○	○	○	○	○	
8月9日	○	○	○		○	
8月16日	※	※				
8月25日	○	○	○	○	○	
9月10日	○	○	○		○	
9月13日	※	※				
9月26日	○	○	○	○	○	
10月14日	○	○	○		○	
10月18日	※	※				
11月1日	○	○	○	○	○	装置停止時調査
11月11日	○	○	○	○	○	
11月15日	※	※				
実施回数	10	10	10	6	10	

※は、秋田県が独自に実施したものであり、調査回数には計上しない。

表 1-5 (3) 調査の実施状況(H27)

調査日	DO 濃度改善範囲調査		水質調査	底質調査	アオコ発生 状況調査	備考
	a. 定点9箇所	b. 周辺調査	定点9箇所	2箇所	2箇所	
6月17日	※		※	※		(装置稼働前調査)
7月9日	○		○	○	○	(装置稼働前調査)
(7月16日～ 装置の稼働、高濃度酸素水の供給)						
7月24日	○				○	
8月5日	○		○	○	○	
8月17日	○					(装置稼働停止中)
9月3日	○		○		○	
9月15日	○					
9月16日	※	○				
9月17日	※	○			○	
10月7日	※	○				
10月10日	○		○		○	(装置稼働停止中)
10月16日	※	○			○	(装置稼働停止中)
10月17日	○	○				(装置稼働停止中)
10月30日	○	○				
11月6日	○	○	○	○	○	
11月9日	※	○				
11月13日	※	○			○	
11月17日	○	○				
11月25日	※	○	※	※	○	
調査実施回数	11	11	5	3	10	

※は、一部の地点及び項目を省略して調査を実施したものであり、調査実施回数に計上しない。

c) 気象条件

平成 27～29 年度の気象の状況を図 1-4、図 1-5、表 1-6 に示す。

大湊観測所の降水量は月別に見ると平成 28 年度、平成 29 年度の 10 月は平年の約 1.6 倍と多かった。

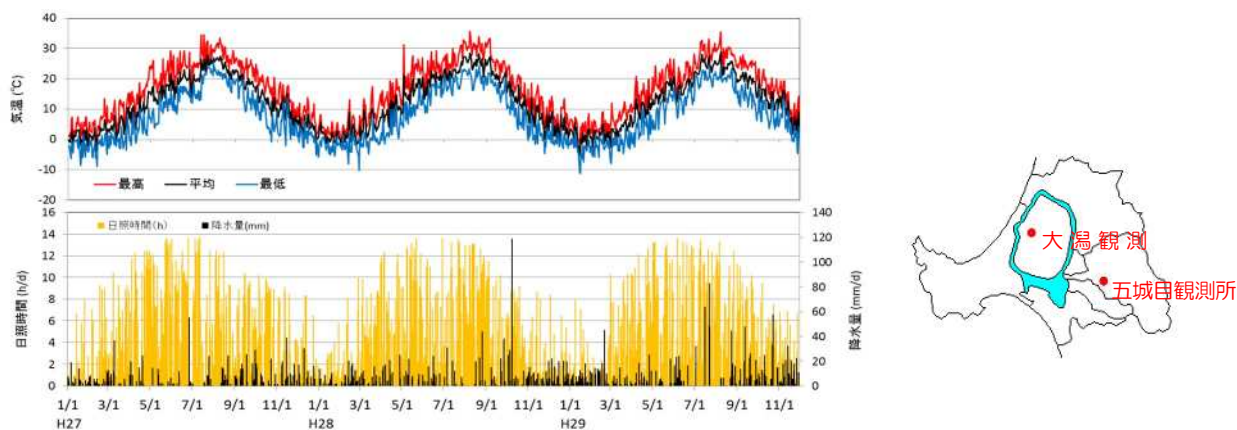


図 1-4 平成 27～29 年度の気象状況(大湊観測所)

表 1-6 月ごと気象状況の平年値比較

大湊	降水量(mm)				平均気温(°C)				日照時間(h)			
	H27	H28	H29	平年値	H27	H28	H29	平年値	H27	H28	H29	平年値
5月	53.5	89.5	57.0	93.5	15.8	16.3	15.6	13.7	240.4	228.8	221.3	192.5
6月	78.5	90.0	124.0	88.3	19.0	19.0	17.1	18.2	194.7	133.6	176.2	172.5
7月	53.5	82.0	228.0	151.9	23.2	22.8	24.3	22	176.7	174.6	188.4	161.5
8月	76.0	98.0	114.0	152.6	24.0	25.4	23.8	23.8	169.2	262.4	188.5	193.1
9月	140.0	110.5	195.0	149.4	19.3	21.4	19.3	19.3	142.3	133.1	167.9	151.8
10月	126.0	226.0	213	136.9	12.8	13.5	13.5	13.2	161.7	130.2	96.0	142.7
11月	144.0	113.0	214.5	155.6	9.0	6.4	8.3	7.4	85.6	62.9	72.1	84.3
合計	671.5	809.0	1146	928.2	-	-	-	-	1171	1126	1110	1098

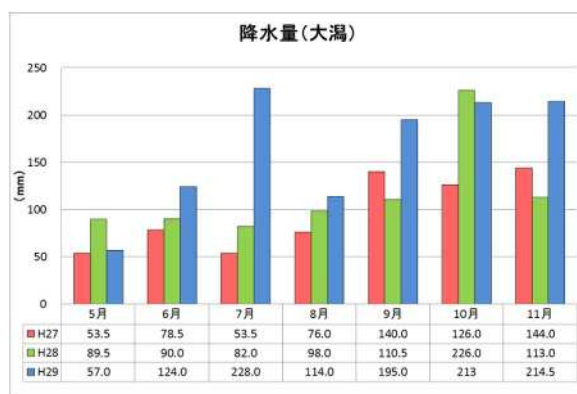


図 1-5 月ごとの降水量

【参考】アオコの発生状況

初期発生は、平成 27 年度は 6 月 7 日、平成 28 年度は 6 月 21 日、平成 29 年度は 7 月 25 日で、平成 29 年度は 3 年間で最も遅かった。なお、平成 29 年度は平年に比べて降水量が多かったこともあり、他 2 年度に比べて発生量が少なかった。



6/12 湖内調査の様子



8/7 流入河川(馬踏川)の様子

図 1-6 平成 29 年度のアオコの発生状況

d) 水温

試験区 (St. 1-0) の鉛直分布から、水深による水温の違いは見られなかった (図 1-7)。

全期間 (3 年の高濃度酸素水供給時) の平均で見ると、試験区 (St. 1-0) と対照区 (2 地点の平均) は、表層では大きな違いが見られなかったが、底層では試験区 19.6℃、対照区 19.3℃と、試験区で 0.3℃高かった。これは、各定点が水深約 3~4m であるのに対し、酸素を溶解させる湖水は水深約 1.5m と浅い場所で汲み上げたことや、陸上で酸素を溶解 (陸上敷設管 77m) させていたことが原因だと考えられる (表 1-7)。

試験区と対照区で同様の推移傾向を示し、表層と底層ともに最大は 7 月下旬から 8 月中旬、最小は各年最後に調査を実施した 11~12 月であった (図 1-8)。

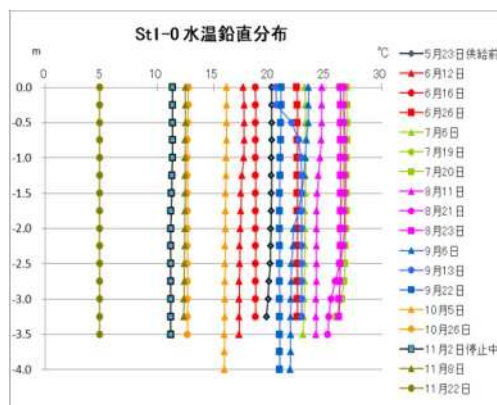
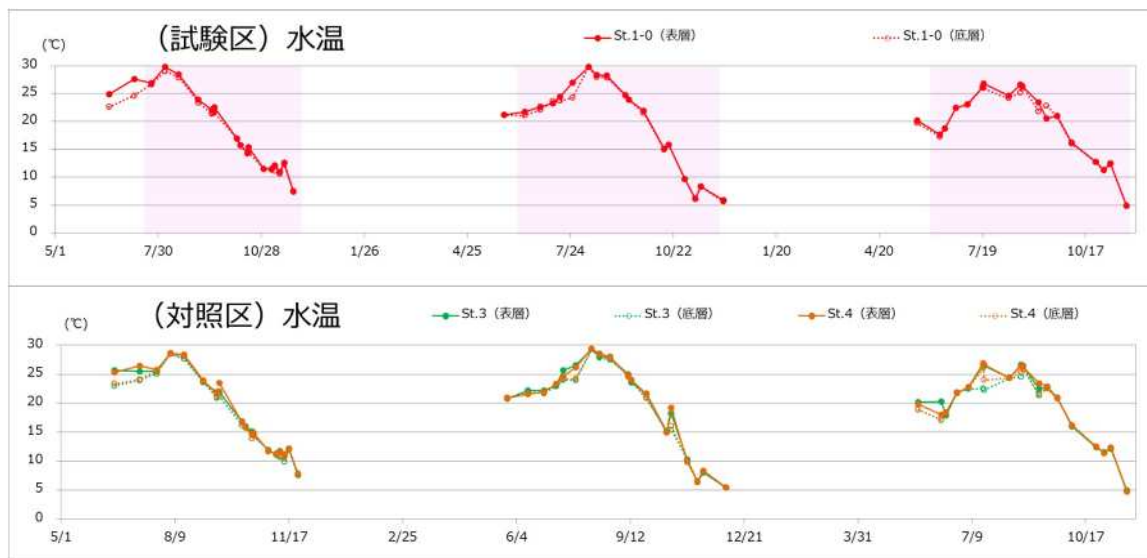


図 1-7 水温の鉛直分布(H29)

表 1-7 試験区と対照区(平均)の高濃度酸素水供給時の水温の範囲及び平均値(°C)

	St.1-0 (表)		St.1-0 (底)		対照区平均 (表)		対照区平均 (底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H27	7.40 ~ 29.77	17.68	7.50 ~ 29.00	17.28	7.70 ~ 28.61	17.06	7.75 ~ 28.50	16.69
H28	6.10 ~ 29.77	21.42	6.10 ~ 29.70	21.04	6.45 ~ 29.41	21.53	6.55 ~ 29.32	21.00
H29	4.84 ~ 26.82	20.23	4.83 ~ 26.17	20.02	4.82 ~ 26.79	20.29	4.83 ~ 26.14	19.55
全期間	4.84 ~ 29.77	19.88	4.83 ~ 29.70	19.56	4.82 ~ 29.41	19.82	4.83 ~ 29.32	19.26



※ピンクのハイライト部分は高濃度酸素水の供給期間を示す

※ピンクの期間内に、機器の調整等で、供給を一時停止した時期があるが記載は省略する
他グラフも同様とする

図 1-8 試験区と対照区の水温の推移

e) 溶存酸素量

i) 定点 3 地点

試験区 (St. 1-0) と対照区 (St. 3) の鉛直分布から、水深に伴う DO の低下は 7 月上旬～10 月上旬に見られ、明確な躍層は形成されないが、水深 1.5～3.0m 程の深さで DO が減少した (図 1-9)。

底層 DO を全期間で見ると、最大値は試験区で 13.1mg/L、対照区 (2 地点の平均) で 11.8mg/L、平均値は試験区で 8.1mg/L、対照区で 7.6mg/L と、それぞれ試験区が 1.3mg/L (対照区の 12%)、0.5mg/L (対照区の 5%) 高くなっていた (表 1-8)。

対照区平均では、3 年間で底層 DO が低下しやすい 7～10 月に 29 回の調査 (全期間では 43 回) を実施し、うち底層 DO が 5mg/L を下回ったのは 10 回 (34%)、3mg/L を下回ったのは 4 回 (14%) であった。なお、毎年 3mg/L を下回るのは夏季であった (表 1-9、図 1-10)。これに対し、試験区では、3 年間の 7～10 月に 30 回の調査 (全期間では 44 回) を実施し、うち底層 DO が 5mg/L を下回ったのは 6 回 (20%)、3mg/L を下回ったのは 2 回 (6.7%) であった。そのため、試験区では対照区に比べ、底層 DO が 5mg/L を下回る割合が 14%、3mg/L を下回る割合が

7.3%低かった。

高濃度酸素水を供給しても、試験区底層でDOが1mg/L台まで低下することが確認された(図 1-11)。

高濃度酸素水によるDOの上昇が確認しやすい条件を検討するため、試験区と対照区のDOの差と全有機炭素(TOC)、溶存態有機物(DOC)、懸濁態有機物(POC)の相関を見ると、POCが0.3mg/L未滿の時は、それ以上であった時と比べ、DOの差が大きく、高濃度酸素水供給による効果が出やすいことが示唆された(図 1-12)。

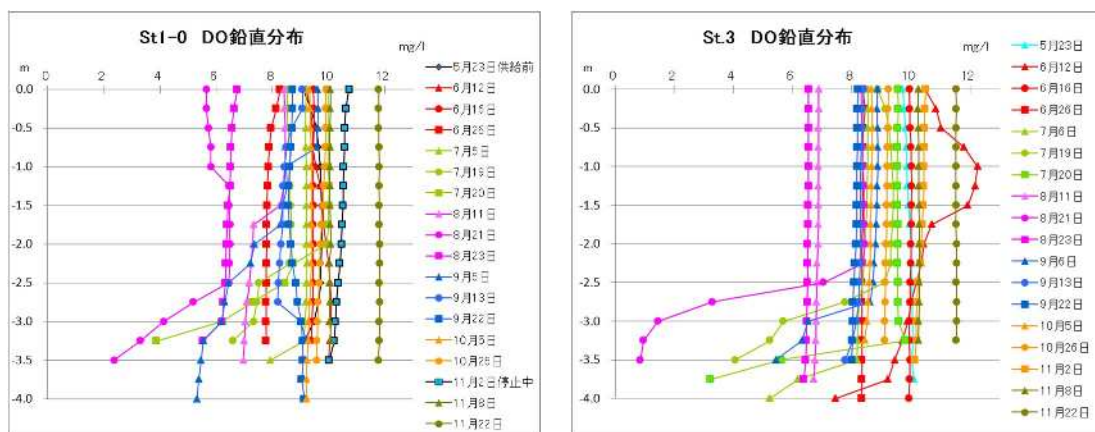


図 1-9 DOの鉛直分布(H29)(左:試験区 右:対照区 St.3)

表 1-8 試験区と対照区(平均)の高濃度酸素水供給時のDOの範囲及び平均値(mg/L)

	St.1-0 (表)		St.1-0 (底)		対照区平均 (表)		対照区平均 (底)		St.1-0 (差)		対照区平均 (差)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H27	7.27 ~ 11.99	9.86	5.45 ~ 11.48	9.14	7.69 ~ 12.15	10.33	2.92 ~ 11.77	8.85	-0.79 ~ 2.05	0.72	-0.81 ~ 6.05	1.47
H28	4.82 ~ 11.60	8.65	1.10 ~ 13.14	7.23	6.19 ~ 11.35	8.83	2.05 ~ 11.20	7.13	-3.45 ~ 9.73	1.41	-0.40 ~ 7.59	1.70
H29	5.65 ~ 11.79	9.00	2.37 ~ 11.76	7.93	6.56 ~ 11.61	8.95	1.86 ~ 11.61	7.21	-1.61 ~ 6.10	1.07	0.00 ~ 7.31	1.75
全期間	4.82 ~ 11.99	9.13	1.10 ~ 13.14	8.05	6.08 ~ 12.21	9.29	1.27 ~ 11.77	7.64	-3.45 ~ 9.73	1.08	-0.81 ~ 7.72	1.65

表 1-9 試験区と対照区(平均)の高濃度酸素水供給時のDO濃度別の回数と割合

	7~10月の調査回数	DO値														(参考)全調査回数
		< 1mg/L		< 2mg/L		< 3mg/L		< 4mg/L		< 5mg/L		< 6mg/L		< 7mg/L		
		回数	割合(%)	回数	割合(%)	回数	割合(%)	回数	割合(%)	回数	割合(%)	回数	割合(%)	回数	割合(%)	
試験区	30	0	0.0	1	3.3	2	6.7	4	13	6	20	12	40	17	57	44
対照区(平均)	29	0	0.0	1	3.4	4	14	6	21	10	34	14	48	16	55	43

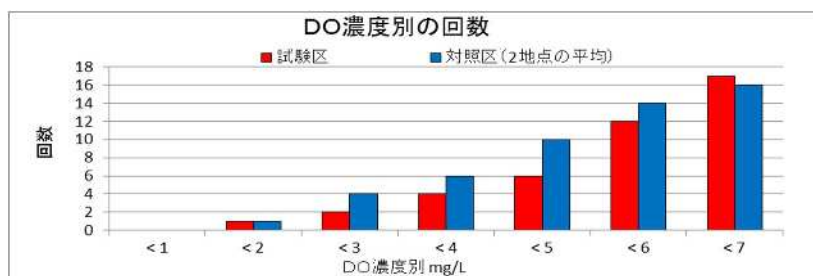


図 1-10 DO濃度別の回数



図 1-11 試験区と対照区のDOの推移

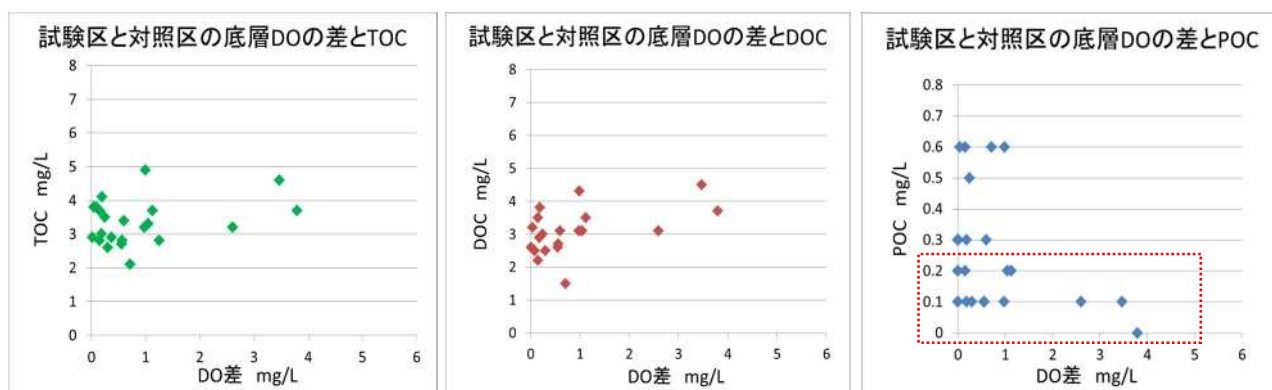


図 1-12 試験区と対照区(平均)の底層DOの差と有機物濃度

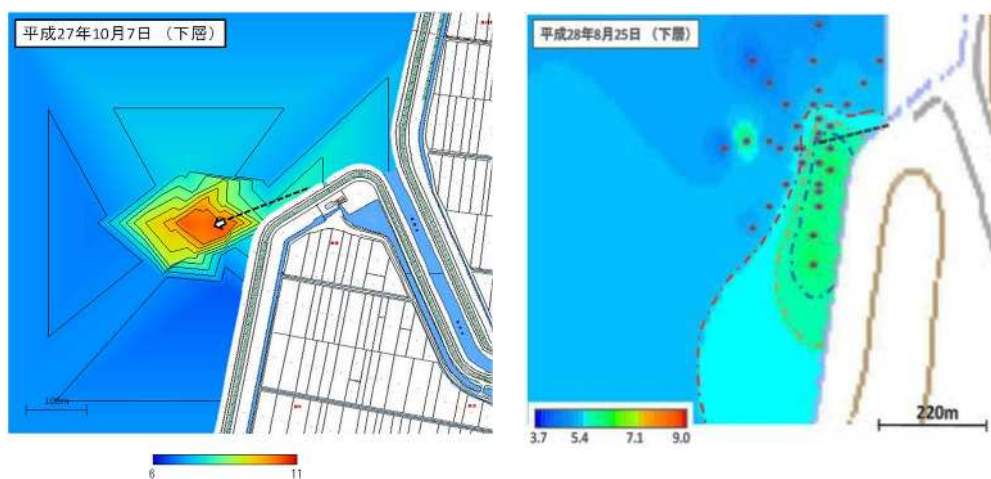
ii) 溶存酸素量改善範囲の検討

3年で、供給地点周辺で面的に底層DOの上昇が確認できたのは、7～11月で、いずれの年も試験区周辺では対照区等に比べて、2mg/L以上高い範囲を確認した。試験区周辺と対照区等との比較で、最も差が大きかったのは、平成27年10月7日で、3.5mg/L以上高い範囲が約2,000m²、最も広範囲に広がったのは、平成28年8月25日で、1.5mg/L以上高い範囲が約174,000m²であった。(表1-10)。

面的に底層DOの上昇が確認しやすい条件を検討するため、確認の有無と調査日周辺の降水量や風速を比較した。すると、面的に底層DOの上昇が確認できた日は、前日から当日までの降水量合計が9mm未満であった。なお、気象庁大湊観測所で観測した風速との相関は見られなかった(表1-11、図1-14)。

表 1-10 各年のDOの改善状況

		供給地点周辺 DO測定値	対照区等との差	面積	対照区等 DO測定値
H27	9月17日	5.5 mg/L	1.0 mg/L 以上	約 18,000 m ²	4.5 mg/L
		7.0 mg/L	2.5 mg/L 以上	約 3,400 m ²	
	10月7日	8.5 mg/L	1.5 mg/L 以上	約 17,000 m ²	7.0 mg/L
		10.5 mg/L	3.5 mg/L 以上	約 2,000 m ²	
	11月13日	11.0 mg/L	0.3 mg/L 以上	約 44,000 m ²	10.7 mg/L
11.4 mg/L		0.7 mg/L 以上	約 1,900 m ²		
H28	8月16日	4.9 mg/L	0.2 mg/L 以上	約 83,000 m ²	4.7 mg/L
		5.2 mg/L	0.5 mg/L 以上	約 15,000 m ²	
	8月25日	5.4 mg/L	1.5 mg/L 以上	約 174,000 m ²	3.9 mg/L
		5.7 mg/L	1.8 mg/L 以上	約 41,000 m ²	
		6.0 mg/L	2.1 mg/L 以上	約 25,000 m ²	
	9月10日	7.2 mg/L	2.5 mg/L 以上	約 79,000 m ²	4.7 mg/L
		7.3 mg/L	2.6 mg/L 以上	約 38,000 m ²	
H29	7月20日	8.3 mg/L	1.5 mg/L 以上	約 60,000 m ²	6.8 mg/L
		8.7 mg/L	2.1 mg/L 以上	約 19,000 m ²	
	8月23日	6.2 mg/L	0.7 mg/L 以上	約 16,000 m ²	5.5 mg/L
		6.6 mg/L	1.1 mg/L 以上	約 4,700 m ²	



分布図内の点：測定地

図 1-13 DO濃度分布図(左:平成 27 年 10 月 7 日 右:平成 28 年 8 月 25 日)

表 1-11 DO改善状況確認の有無と降水量

	前日から当日までの 降水量合計 mm		
	平均	最小	最大
DO上昇確認有	2.3	0.0	9.0
確認無	8.2	0.0	48

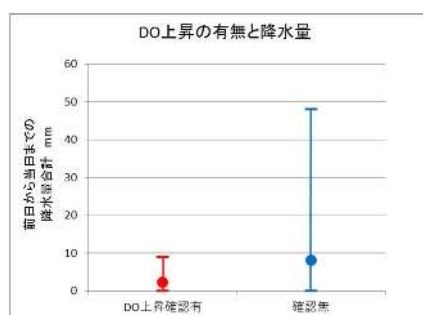


図 1-14 DO改善状況確認の有無と降水量

f) 酸素溶解率

酸素溶解タンクへの酸素供給量は、酸素発生装置の流量と酸素濃度から、H28 平均値は約 125kg O₂/day、H29 平均値が約 120kg O₂/day であった。

湖水に溶け込んでいる酸素量は、前述の対照区等との差とその面積から、2.6～41kg O₂と試算された。

湖水の酸素消費速度 (WOD : water oxygen demand) は、0.77g O₂/m³/day、底質の酸素消費速度 (SOD) は、本調査の底質酸素消費速度の年間平均値である H27 で 0.44 g O₂/m²/day、H28 で 0.42g O₂/m²/day、H29 で 0.48g O₂/m²/day を使用した。湖水に溶け込んだ酸素量と、湖水及び底質に消費された酸素量を合わせると、13～86kg O₂/day であり、溶解タンクに供給された酸素量に対する割合は 11～69%、期間別では H27 で 12～23%、H28 で 41～69%、H29 で 11～49%であった。

表 1-12 酸素量と酸素溶解率

	対照区等との差 mg/L以上	面積 m ² 重複除く		湖水溶解酸素量		水酸素消費量 kgO ₂	底質酸素消費量 kgO ₂	合計酸素量 kgO ₂	溶解外の酸素量 kgO ₂	溶解率 %	
				濃度別 kgO ₂	合計 kgO ₂						
H27	9/17	1.0	約 18,000	約 14,600	2.9	4.6	2.8	7.9	15	125	12
		2.5	約 3,400	約 3,400	1.7						
	10/7	1.5	約 17,000	約 15,000	4.5	5.9	2.6	7.5	16	125	13
		3.5	約 2,000	約 2,000	1.4						
	11/13	0.3	約 44,000	約 42,100	2.5	2.8	6.8	19	29	125	23
0.7		約 1,900	約 1,900	0.27							
H28	8/16	0.2	約 83,000	約 68,000	2.7	4.2	13	35	52	125	41
		0.5	約 15,000	約 15,000	1.5						
	8/25	1.5	約 174,000	約 133,000	40	57	27	73	157	125	126
		1.8	約 41,000	約 16,000	5.8						
		2.1	約 25,000	約 25,000	11						
	9/10	2.5	約 79,000	約 41,000	21	41	12	33	86	125	69
		2.6	約 38,000	約 38,000	20						
H29	7/20	1.5	約 60,000	約 41,000	12	20	9.2	29	59	120	49
		2.1	約 19,000	約 19,000	8.0						
	8/23	0.7	約 16,000	約 11,300	1.6	2.6	2.5	8	13	120	11
1.1		約 4,700	約 4,700	1.0							

※高濃度酸素水は湖内で0.2mの層で拡散したと仮定(供給管の径)

※H27の溶解タンクへの酸素量は実測データが無いため、H28の値を引用

※H28.8/25は、溶解率が100%を大きく超えたため、エラーとして扱う

(参考)溶解タンクに供給された酸素量について

H28

酸素発生装置酸素流量平均値	65 N L/min
酸素濃度平均値	93.3 %
タンクに供給される酸素量(体積)	87,329 N L/day
タンクに供給される酸素量(重量)	125 kgO ₂

H29

酸素発生装置酸素流量平均値	62 N L/min
酸素濃度平均値	94 %
タンクに供給される酸素量(体積)	83,923 N L/day
タンクに供給される酸素量(重量)	120 kgO ₂

g) 水質

SS は試験区と対照区、高濃度酸素水供給の有無で顕著な差は見られなかった。なお、試験区底層では、送水による底質の巻き上げが心配されたが、SS に差がなかったことから、その影響は小さいと考えられる (図 1-15)。

底層の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、全期間 (3 年間) の高濃度酸素水供給時の平均値が、試験区と対照区平均ともに、 0.11mg/L であり、供給による効果は明らかではない (図 1-16、表 1-13)。

底層の $\text{NH}_4\text{-N}$ は、全期間の平均値が、試験区で 0.045mg/L 、対照区平均で 0.035mg/L であり、試験区で高かった (図 1-17、表 1-14)。

底層の $\text{NO}_3\text{-N}$ は、全期間の平均値が、試験区で 0.10mg/L 、対照区平均で 0.083mg/L であり、試験区で高かった (図 1-18、表 1-15)。

試験区と対照区の推移に大きな差は見られず、対策の効果は明確ではなかった。しかし、底層平均値で、試験区は対照区に比べて、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が高く、高濃度酸素水の供給が底層水での硝化や有機物の分解を促進した可能性も考えられる。



図 1-15 SSの推移

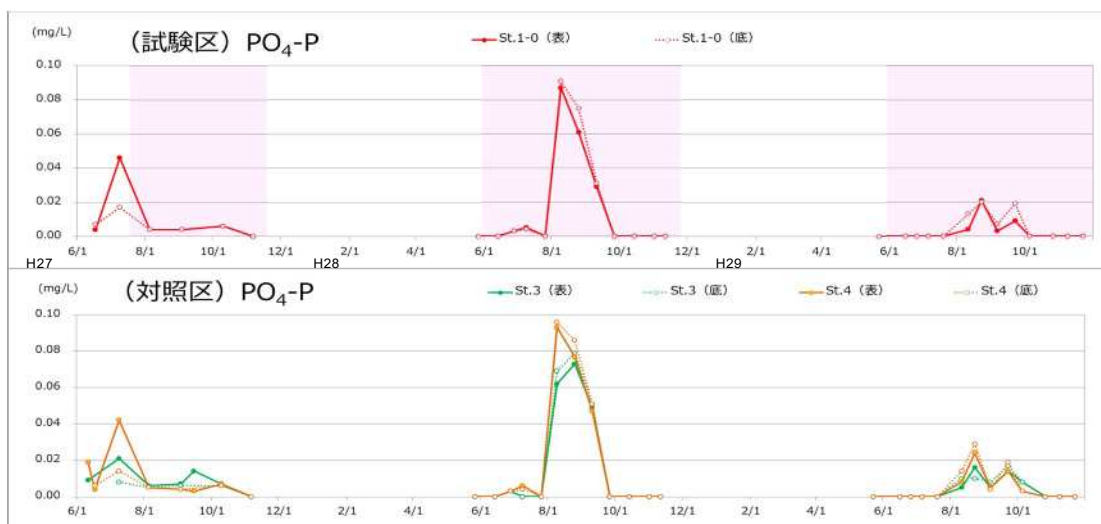
図 1-16 $\text{PO}_4\text{-P}$ の推移

表 1-13 PO₄-P の推移

	St.1-0 (表)		St.1-0 (底)		対照区平均 (表)		対照区平均 (底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H27	<0.003 ~ 0.009	0.004	<0.003 ~ 0.009	0.004	<0.003 ~ 0.006	0.004	<0.003 ~ 0.006	0.003
H28	<0.003 ~ 0.087	0.019	<0.003 ~ 0.091	0.020	<0.003 ~ 0.083	0.021	<0.003 ~ 0.088	0.022
H29	<0.003 ~ 0.021	0.003	<0.003 ~ 0.020	0.005	<0.003 ~ 0.020	0.004	<0.003 ~ 0.023	0.005
全期間	<0.003 ~ 0.087	0.009	<0.003 ~ 0.091	0.011	<0.003 ~ 0.083	0.011	<0.003 ~ 0.088	0.011

※検出下限値未満の値は、0として平均値を算出した(他も同様)

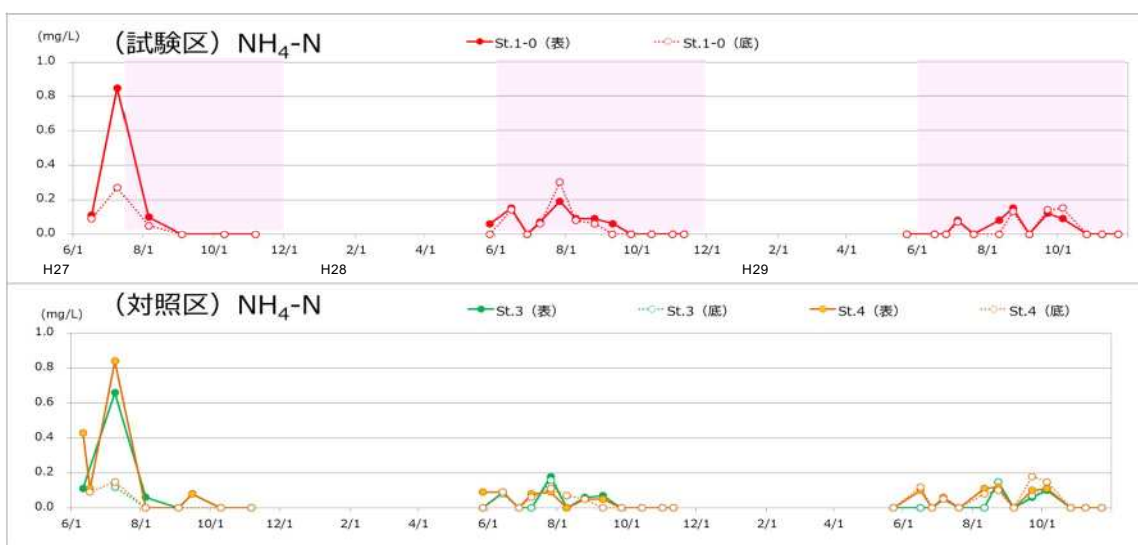
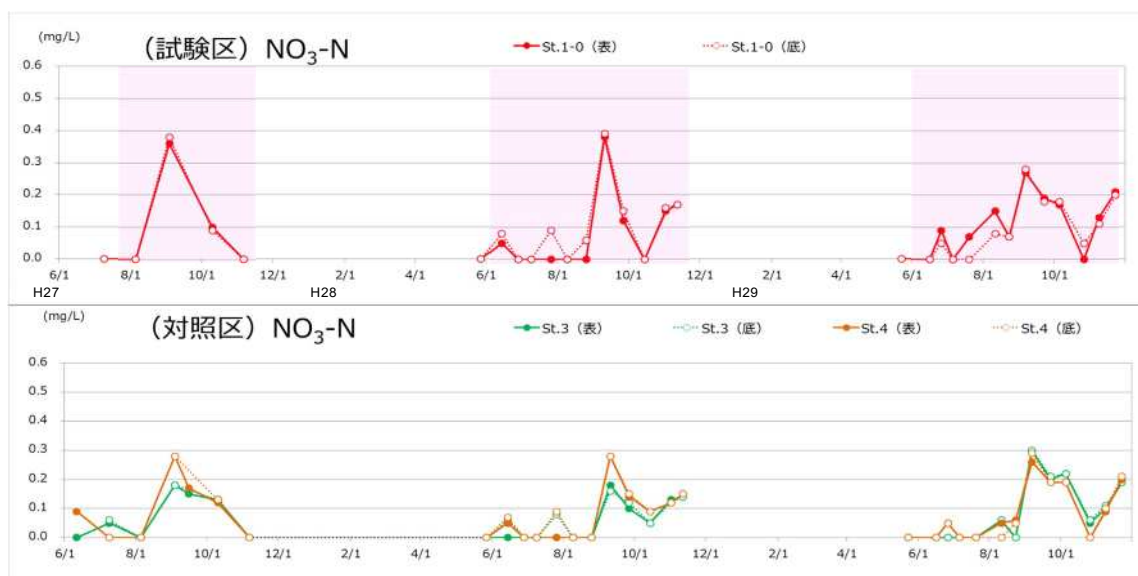


図 1-17 NH₄-N の推移

表 1-14 NH₄-N の推移

	St.1-0 (表)		St.1-0 (底)		対照区平均 (表)		対照区平均 (底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H27	<0.05 ~ 0.10	0.025	<0.05 ~ 0.050	0.013	<0.05 ~ 0.030	0.008	<0.05 ~ <0.05	0.000
H28	<0.05 ~ 0.19	0.065	<0.05 ~ 0.30	0.064	<0.05 ~ 0.14	0.038	<0.05 ~ 0.14	0.036
H29	<0.05 ~ 0.15	0.043	<0.05 ~ 0.15	0.041	<0.05 ~ 0.14	0.040	<0.05 ~ 0.17	0.044
全期間	<0.05 ~ 0.19	0.049	<0.05 ~ 0.30	0.045	<0.05 ~ 0.15	0.035	<0.05 ~ 0.17	0.035

図 1-18 NO₃-N の推移表 1-15 NO₃-N の推移

	St.1-0 (表)		St.1-0 (底)		対照区平均 (表)		対照区平均 (底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H27	<0.05 ~ 0.36	0.12	<0.05 ~ 0.38	0.13	<0.05 ~ 0.23	0.077	<0.05 ~ 0.23	0.077
H28	<0.05 ~ 0.38	0.072	<0.05 ~ 0.39	0.094	<0.05 ~ 0.23	0.059	<0.05 ~ 0.22	0.072
H29	<0.05 ~ 0.27	0.11	<0.05 ~ 0.28	0.10	<0.05 ~ 0.28	0.092	<0.05 ~ 0.30	0.093
全期間	<0.05 ~ 0.38	0.097	<0.05 ~ 0.39	0.10	<0.05 ~ 0.29	0.077	<0.05 ~ 0.30	0.083

h) 底質

底質の色相や臭気等は、調査期間を通して大きな変化は見られなかった。

試験区の底質は、対策前に比べて、全炭素含量 56%、強熱減量 71%、T-P 97%、T-N 52% 減少、酸化還元電位 32%上昇など、分析項目の全てで改善が見られた（図 1-19）。

底質間隙水について、PO₄-P は、対策前は対照区より試験区が高かったが、2 年目には試験区で 87%、対照区で 64%減少し、試験区の方が低くなった。3 年目には両区ともわずかに上昇したが、試験区が低い傾向は維持されている。なお、NO₃-N は試験区で、対策前後において変化が無かったが、毎年対照区よりも高く推移した（図 1-20）。

底質の改善範囲を検討するため、5月から11月まで、吐出口から吐出方向に 0m、2m、5m、10m、20m、30m 地点の底質の酸化還元電位を測定したところ、2m 地点は高濃度酸素水の供給を開始した 6月に大きく上昇し、5m 地点は 7月、10m 地点は 9月に上昇し、20m 地点では変化が見られなかった。そのため、底質の酸化還元電位が改善される範囲は 10m 以上 20m 以内である可能性が高い（図 1-21）。

酸素消費速度試験では、試験区は対照区に比べて H27 は 0.09g/m²/d 大きかったが、

H28 は $0.18\text{g/m}^2/\text{d}$ 、H29 は $0.11\text{g/m}^2/\text{d}$ 低く維持されたため、試験区では、分解される有機物量が減少したことが示唆された（図 1-22）。

溶出速度試験では、試験区は対照区に比べて $\text{PO}_4\text{-P}$ は 対策 2 年目以降低下し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は 2 年目以降上昇し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ は違いが見られなかった。底層を好気的な環境にすることで、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出は抑制されたと考えられる。窒素の溶出速度は D_0 との関係は見られない（「湖沼底質環境・調査手引き」（案）平成 21 年 3 月 国土交通省東北地方整備局）との報告があり、本調査でも同様だった（図 1-23）。

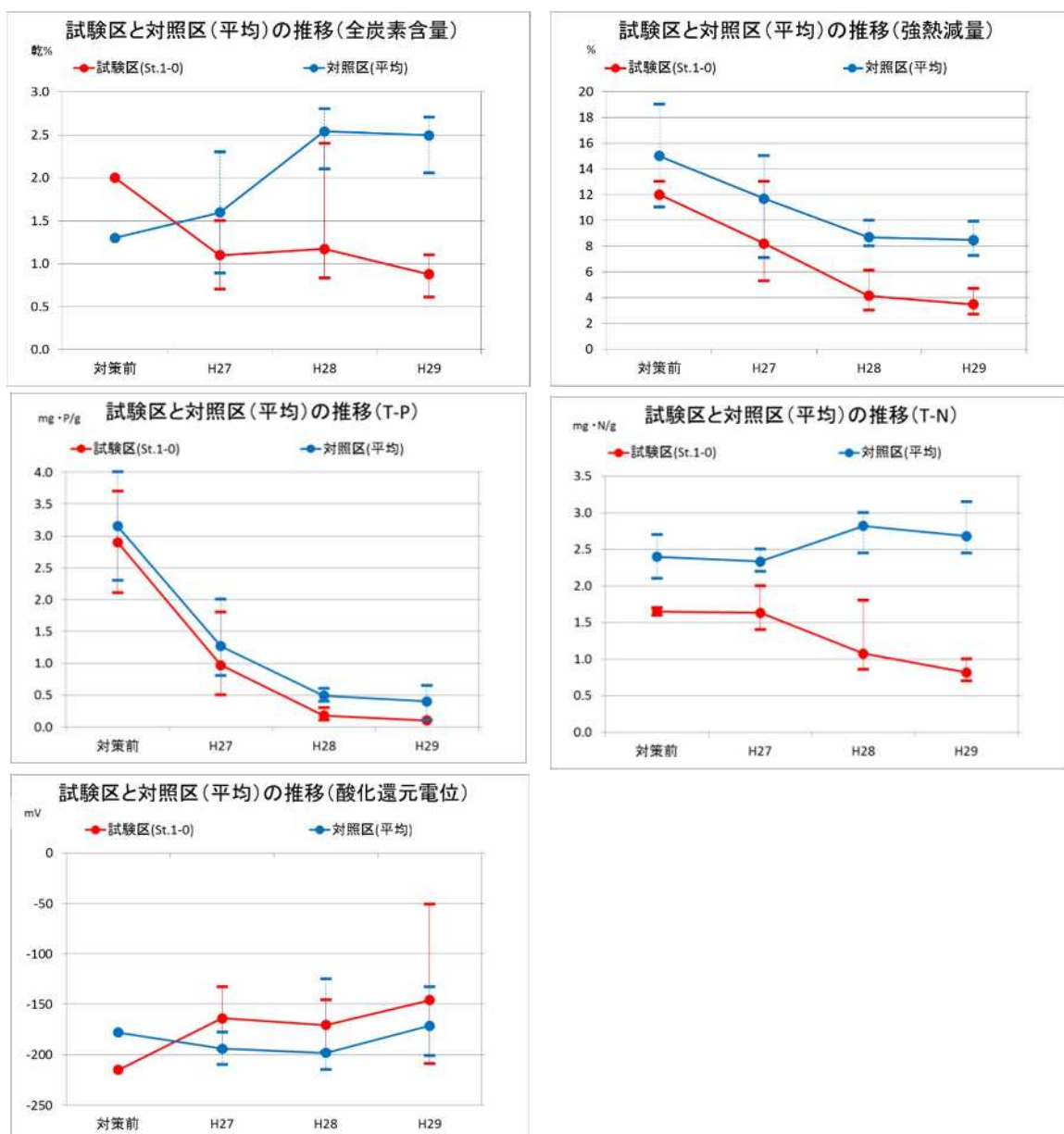


図 1-19 試験区と対照区の底質の推移

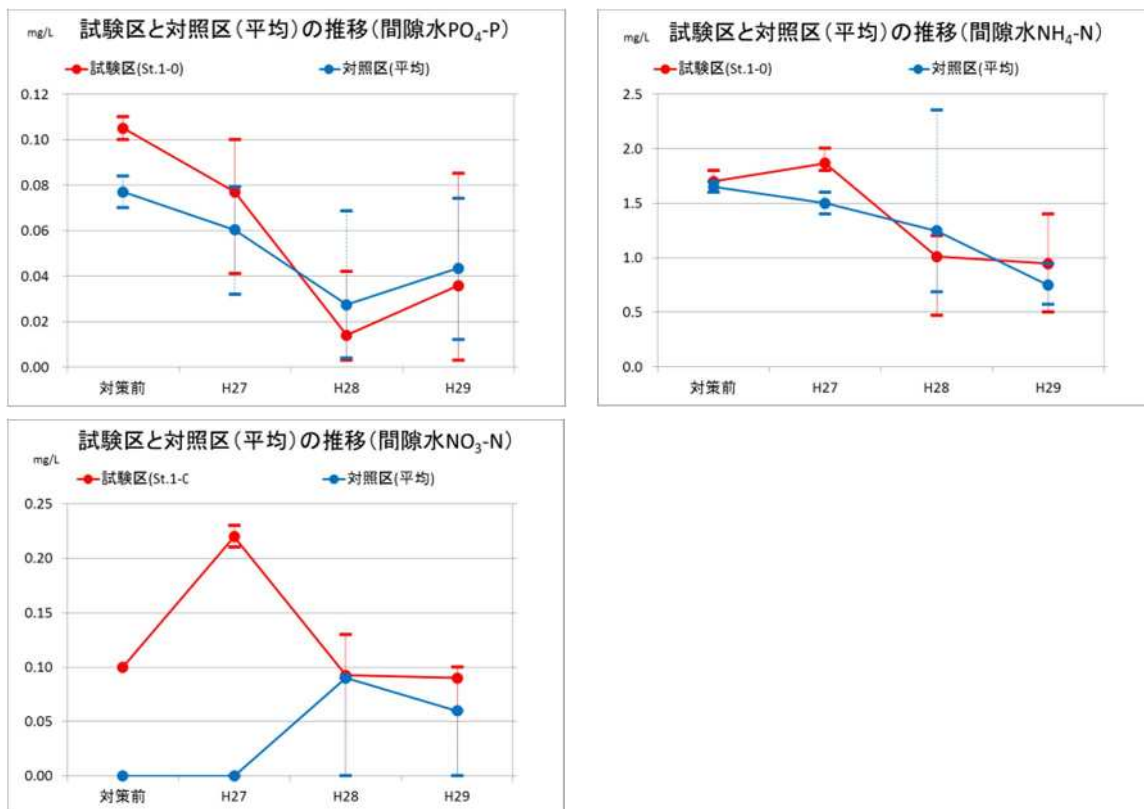


図 1-20 試験区と対照区の底質間隙水の推移

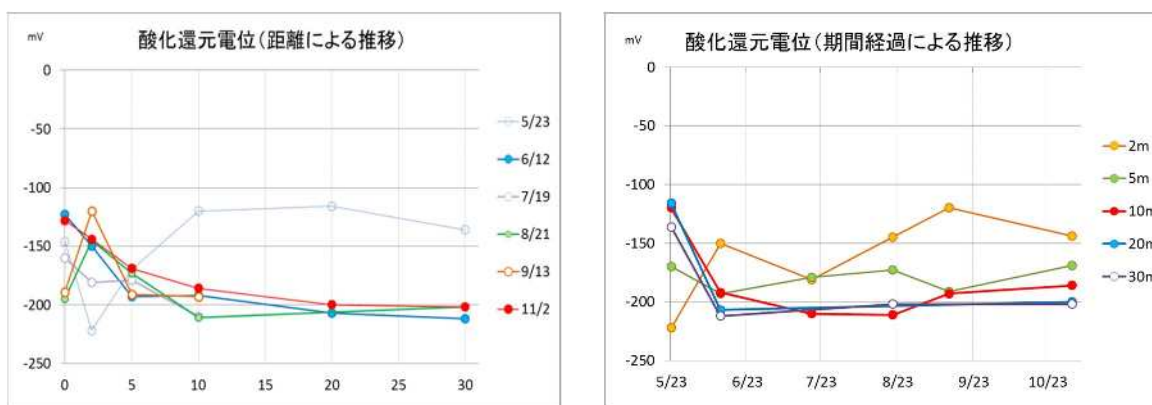


図 1-21 高濃度酸素水吐出口からの距離に伴う酸化還元電位の変化

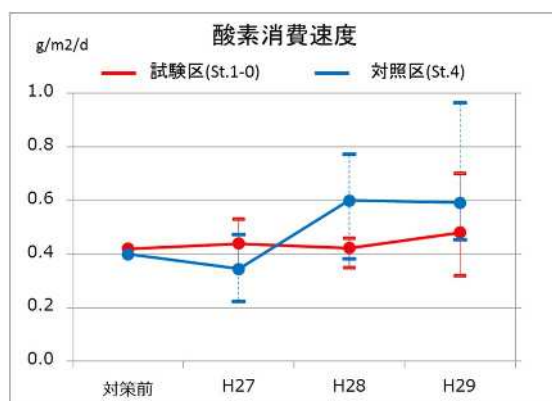


図 1-22 酸素消費速度の推移

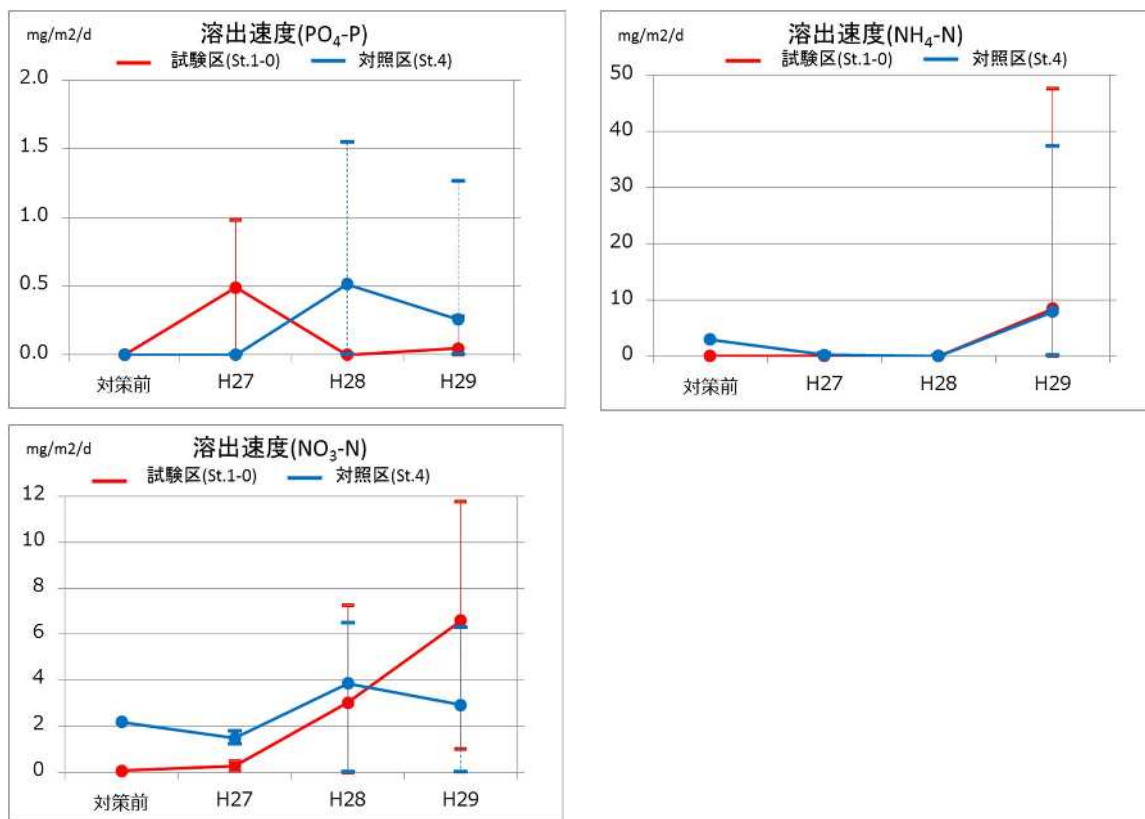


図 1-23 溶出速度の推移

i) アオコの発生状況(H29)

目視でのアオコ発生状況調査では、湖内において、7月下旬から10月上旬まで継続的にアオコの発生が確認された。

Chl. a 濃度が最大値となったのは、試験区で8月23日、対照区で8月11日（平成28年度は全地点が8月25日）で、植物プランクトンの個体数は8月11日に多かった（表1-16）。

優占種は、6～8月までアナベナ属、9月上旬以降にミクロキスティス属と遷移した。なお、8月にアナベナ属からミクロキスティス属に遷移した地点や、逆に10月までアナベナ属が優先していた地点もあった。

いずれの地点でも、11月22日までの調査で、アフアニゾメノン属は確認されなかった。（例年の優占種遷移状況：7月はアナベナ属、8～9月はミクロキスティス属、10月はアフアニゾメノン属）

各定点は St. 3、St. 1-0、St. 4 の順に湖心側に位置し、湖心に近い方がミクロキスティス属の発生量が多い傾向にあった。

装置稼働による効果は明確ではない。また、各地点でアフアニゾメノン属が確認されなかったことや、湖内末端でアナベナ属、湖心側でミクロキスティス属が多く確認されたことと T-N、T-P の相関は見られず、原因は不明である。

St.1-0

表 1-16 アオコ調査結果(H29)

種類	優占種											1mlあたりの群体系数(細胞数)	
	6月16日	6月26日	7月6日	7月20日	8月11日	8月23日	9月6日	9月22日	10月5日	10月26日	11月8日	11月22日	
1 ミクロキスティス エルギノーサ							10 (5,000)		20 (10,000)		10 (5,000)		
2 ミクロキスティス ベーゼンベルギー								30 (6,000)					
3 ミクロキスティス ビリジス													
4 ミクロキスティス ノバッセキ					40 (8,000)								
5 ミクロキスティス イクチオブラバ													
6 アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ													
7 アナヘナ スピロイデス			4 (32)					40 (320)					
8 アナヘナ フロリアクア					50 (1,000)					70 (1,400)			
9 アナヘナ アフィニス								250 (5,000)					
10 オッシラトリア テネイス													
11 アファニソメノン フロリアクア													
Chl.a (mg/m3)	27	22	26	48	73	96	39	32	47	35	41	9	

St.3

種類	優占種											1mlあたりの群体系数(細胞数)	
	6月16日	6月26日	7月6日	7月20日	8月11日	8月23日	9月6日	9月22日	10月5日	10月26日	11月8日	11月22日	
1 ミクロキスティス エルギノーサ					2 (1,000)		60 (30,000)				15 (7,500)		
2 ミクロキスティス ベーゼンベルギー					4 (800)			240 (48,000)					
3 ミクロキスティス ビリジス													
4 ミクロキスティス ノバッセキ					2 (400)								
5 ミクロキスティス イクチオブラバ													
6 アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ													
7 アナヘナ スピロイデス					40 (320)								
8 アナヘナ フロリアクア					50 (1,000)	20 (400)							
9 アナヘナ アフィニス					4 (80)								
10 オッシラトリア テネイス									4 (400)				
11 アファニソメノン フロリアクア													
Chl.a (mg/m3)	30	17	23	44	59	43	49	48	42	43	43	15	

St.4

種類	優占種											1mlあたりの群体系数(細胞数)	
	6月16日	6月26日	7月6日	7月20日	8月11日	8月23日	9月6日	9月22日	10月5日	10月26日	11月8日	11月22日	
1 ミクロキスティス エルギノーサ					4 (2,000)		10 (5,000)						
2 ミクロキスティス ベーゼンベルギー					3 (600)						10 (2,000)		
3 ミクロキスティス ビリジス													
4 ミクロキスティス ノバッセキ					80 (16,000)								
5 ミクロキスティス イクチオブラバ													
6 アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ													
7 アナヘナ スピロイデス				5 (40)	80 (640)								
8 アナヘナ フロリアクア					100 (2,000)		40 (800)						
9 アナヘナ アフィニス					3 (60)								
10 オッシラトリア テネイス		4 (400)							8 (800)				
11 アファニソメノン フロリアクア													
Chl.a (mg/m3)	31	17	25	43	68	41	64	43	49	43	43	18	

3) 効果を把握するための調査（西部承水路）

(1) 調査計画

a) 調査方針

高濃度酸素水供給による貧酸素化の解消・抑止効果や水質・底質の改善効果について、試験区及び対照区、表層及び下層で調査を実施し、比較・検討を実施する。

併せて、アオコの発生状況等についても比較・検討する。

b) 調査地点

試験区：St.1 試験区（高濃度酸素水供給地点）

対照区：St.2 窪地北側

St.3 窪地南側

St.4 窪地外

※いずれも表層及び底層（湖底から 50cm 程度）



図 1-24 調査地点図

c) 調査内容

表 1-17 調査内容

調査区分	①D0改善範囲調査	②水質調査	③酸化還元電位上昇範囲調査	④底質調査	⑤アオコ発生状況調査
調査地点	試験区、対照区 (St. 1, 2, 3, 4) 及び供給地点周辺で実施	試験区及び対照区 (St. 1, 2, 3, 4)	試験区、対照区 (St. 1, 2, 3, 4) 及び供給地点周辺で実施	試験区及び対照区 (St. 1, 2, 3, 4)	試験区及び対照区 (St. 1, 2, 3, 4)
調査回数 調査時期	1 2回 2回/月 (6月～11月)	3回 1回/2月 (6, 8, 10月) (表層、底層(湖底から50cm)で実施)	6回 1回/月	6回 1回/月 (6, 10, 11月は表層、10cm層の調査及び溶出速度試験も実施)	適宜実施
調査項目	気温、水温、pH、透視度、透明度、D0、酸化還元電位(透視度、透明度は表層のみ) (供給地点周辺での調査は、供給地点から200mの範囲内とし、水温及びD0は鉛直分布を測定)	SS、T-N、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、T-P、PO ₄ -P、クロロフィルa	酸化還元電位(表層約1cmで行う)(供給地点周辺での調査は、供給地点の前後左右十字の方向に対して調査を行う)	全炭素含量、含水率、強熱減量、COD _{sed} 、T-N、T-P、硫化物、色相、臭気、泥種、酸化還元電位、間隙水(pH、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P) 層別試験のみ(鉄含有量、マンガン含有量、形態別P) 溶出速度試験(NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、PO ₄ -P)、酸素消費速度試験(D0)	ラン藻類の優占種

(2) 主な調査結果と考察

a) 装置の稼働状況

令和元年6月1日～11月30日(全183日)のうち182日(24時間稼働)

○3年間合計

平成29年6月1日～令和元年11月30日(902日のうち稼働538日)

令和元年6月1日～11月30日(183日のうち稼働182日)

平成30年6月1日～11月30日(183日のうち稼働183日)

平成29年6月1日～11月30日(183日のうち稼働172日)(秋田県単独で実施)

※西部承水路では平成28年度から試験を行っているが、結果報告では平成29年度からの結果を使用する

b) 調査の実施状況

表 1-18 調査の実施状況(R1)

調査日	DO濃度改善 範囲調査	水質調査	底質調査	酸化還元電 位改善範囲 調査	アオコ発生 状況調査	備考
	定点4箇所	定点4箇所	定点4箇所		定点4箇所	
5月29日	※	※	※	※		装置稼働前調査
6月13日	○	○	○	○	○	
6月21日	※			※	※	
6月27日	○					
7月11日	○		○	○	○	
7月23日	※			※	※	
7月30日	○					
8月8日	○	○	○	○	○	
8月22日	○					
8月27日	※	※	※	※	※	
9月12日	○		○	○	○	
9月26日	○				○	
10月10日	○	○	○	○	○	
10月22日	○					
10月29日	※			※	※	
11月7日	○		○	○	○	
11月21日	○					
12月9日	※					予定
実施回数	12	3	6	6	6	

※は、秋田県が独自に実施した補助調査であり、実施回数には計上しない。

c) 気象条件 (令和元年度の観測データは10月末までのものとする)

- ・アメダス大潟観測所における3年間の気象は以下のとおりであった。(図 1-25)
- ・ 平年値と比べて、令和元年度は降水量が極端に少ない月が多かった。また、日照時間が多く、気温も期間を通して高かった。特に5月の日射量は異常に多く、観測史上最長となった。(図 1-26、表 1-19)

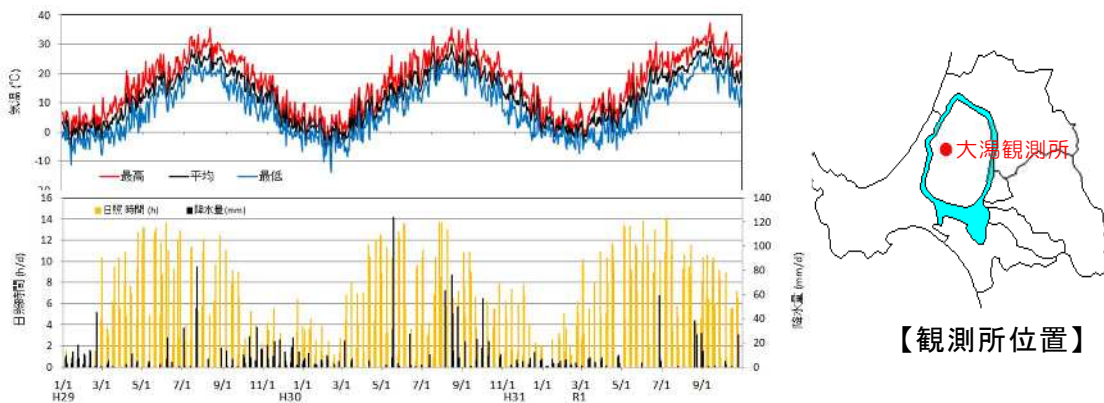


図 1-25 平成 29～令和元年度の気象状況 (大潟観測所)

表 1-19 月毎気象状況の平年値比較

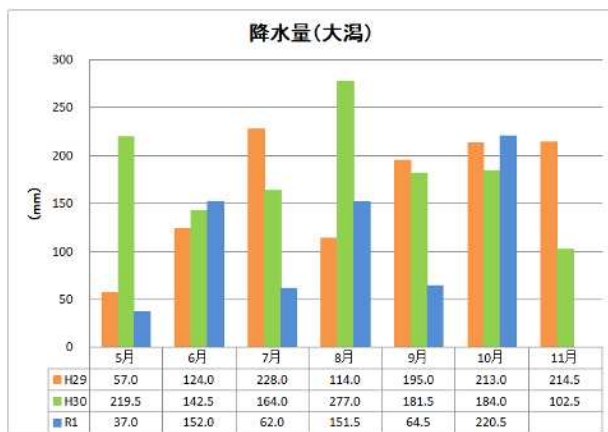


図 1-26 月毎の降水量

大潟	降水量 (mm)			平均気温 (°C)			日照時間 (h)		
	H29	H30	R1	H29	H30	R1	H29	H30	R1
5月	57.0	219.5	37.0	15.6	14.9	16.2	221.3	165.4	284.2
6月	124.0	142.5	152.0	17.1	18.9	19.3	176.2	163.2	194.8
7月	228.0	164.0	62.0	24.3	24.6	23.6	188.4	163.8	187.7
8月	114.0	277.0	151.5	23.8	23.9	25.8	188.5	176.7	214.9
9月	195.0	181.5	64.5	19.3	20.0	21.4	167.9	147.2	173.7
10月	213.0	184.0	220.5	13.5	14.8	15.5	96	142.9	140.6
11月	214.5	102.5		8.3	8.9		72.1	104.5	

■ : 平年値より高い
■ : 平年値より低い

※平年値は、気象庁大潟観測所の S56(1981)～H22(2010)年の平均値

(参考) アオコの発生状況

八郎湖におけるアオコの初期発生は、平成 29 年度は 7 月 25 日、平成 30 年度は 7 月 10 日だったが、令和元年度は 6 月 3 日と過去 10 年で 2 番目に早い発生となった。5 月の日照時間が記録的に長く、平均気温も高かったことなどが原因と考えられる。継続的なアオコの発生はあったが、異常発生するまでには至らず、期間を通してアオコレベル 4(国立環境研究所「見た目アオコ指標」)以上となったのは 3 日間(各 1 地点)のみであった。



6/21 湖内調査の様子



7/23 試験区 (St. 1) の様子

d) 水温(令和元年度の観測データは10月末までのものとする)

- 令和元年度における試験区(St.1)の水温鉛直分布は水深が深くなるにつれて低下したが、6月調査時には水深6m付近でわずかに上昇した。対照区(St.3)では、すべての調査で水深が深くなるにつれて水温の低下が確認された。(図1-27)
- 全期間(3年の高濃度酸素水供給時)の平均で見ると、試験区(St.1)と対照区(St.2及びSt.3の平均値)は、表層、底層のいずれでも、大きな違いは見られなかった。令和元年度は最高水温が過去2年と比較して1~2℃程高かった。(表1-20)
- 試験区と対照区で同様の推移傾向を示し、表層と底層ともに最大は7月下旬から8月中旬となっている。(図1-28)

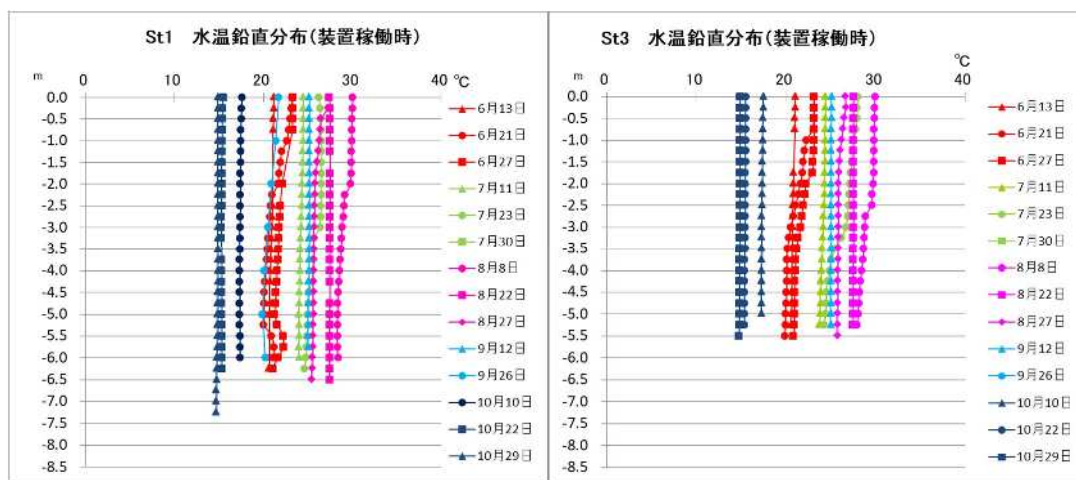


図1-27 令和元年度水温鉛直分布(左:試験区、右:対照区(窪地南側))

表1-20 試験区と対照区の各高濃度酸素水供給時の水温の範囲及び平均

	水温(℃)							
	試験区(表)		試験区(底)		対照区(表)		対照区(底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H29	4.11 ~ 28.23	19.97	4.12 ~ 26.53	19.41	4.14 ~ 28.30	19.94	4.10 ~ 26.36	19.42
H30	8.30 ~ 27.80	20.45	6.06 ~ 25.48	19.41	7.99 ~ 27.94	20.50	7.80 ~ 24.77	19.15
R1	14.89 ~ 30.03	22.62	14.71 ~ 28.38	21.90	14.78 ~ 29.96	22.32	14.74 ~ 27.86	21.72
全期間	8.30 ~ 30.03	22.01	6.06 ~ 28.38	21.12	7.99 ~ 29.96	21.92	7.80 ~ 27.86	20.98

(℃)

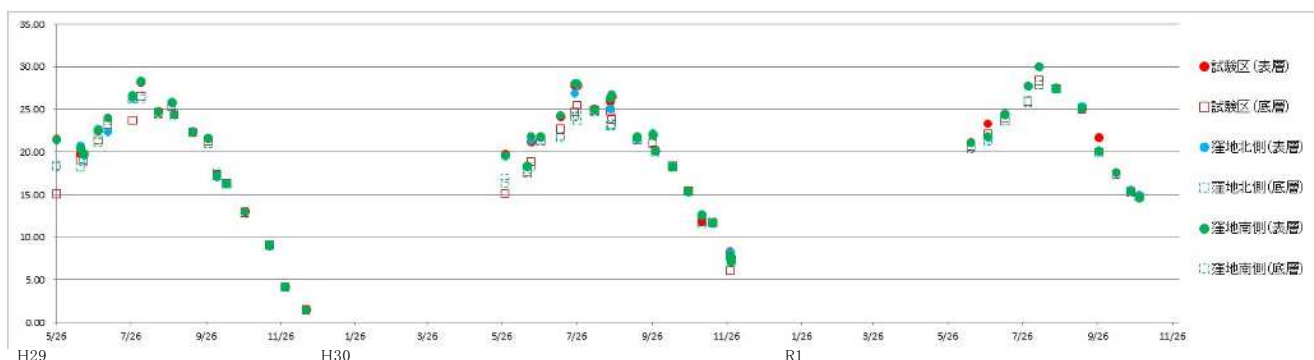


図1-28 水温の推移

e) DO(令和元年度の観測データは10月末までのものとする)

i) 鉛直分布

- 令和元年度における試験区(St.1)と窪地南側(St.3)の鉛直分布から、深さ方向のDOの低下は5月下旬～9月上旬に見られ、水深1.0～3.5m程の深さで確認された。また、両区ともに水深4mまではDOが同様の傾向で低下した。試験区では、全ての調査において、程度の差はあるが4.5～5.5m程からDOが上昇していた。(図1-29)
- 令和元年度において、試験区と対照区との差は6月に顕著に表れた。いずれの測定日も試験区では水深5m前後からDO上昇が確認され、対照区との差は3～12mg/Lであった。風のない、穏やかな日に差が大きくなる傾向にある。(図1-29)
- 平成29年度から令和元年度までの高濃度酸素水供給時の底層DOでは、最大値は試験区で25.2mg/L、対照区(St.2及びSt.3の平均値)で11.0mg/L、平均値は試験区で10.1mg/L、対照区で5.2mg/Lと、試験区では対照区比で最大値が230%、平均値が197%となった。(表1-21)
- 高濃度酸素水供給時、対照区では3年間で49回の調査のうち、底層DOが4mg/Lを下回ったのは19回(全体の39%)であった。これに対し、試験区でも3年間で49回の調査を行っており、底層DOが4mg/Lを下回ったのは1回(全体の2%)のみであった。(表1-22、図1-30)
- 高濃度酸素水供給時において、試験区の底層DOは対照区と比較して高い値で推移した。令和元年度の試験では、試験区において表層と底層のDO差がほとんどなくなっている(図1-31、図1-32)

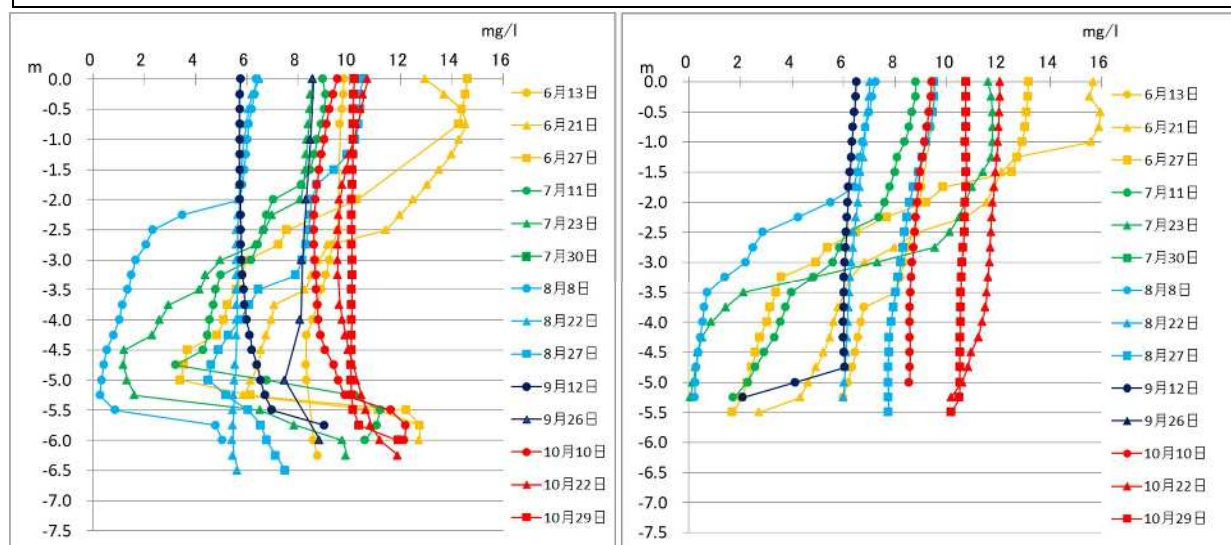


図 1-29 DOの鉛直分布(左:試験区、右:窪地南側)

表 1-21 試験区と対照区の高濃度酸素水供給時の底層DOの範囲と平均値

	DO (mg/L)							
	試験区(表)		試験区(底)		対照区(表)		対照区(底)	
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H29	7.02 ~ 9.84	8.71	5.76 ~ 25.21	12.55	6.99 ~ 10.21	8.70	0.36 ~ 9.07	5.22
H30	4.09 ~ 12.25	9.43	1.00 ~ 14.54	8.53	3.68 ~ 12.61	9.60	0.09 ~ 10.96	5.69
R1	5.87 ~ 14.59	9.37	5.09 ~ 13.06	10.42	5.56 ~ 14.82	9.14	0.23 ~ 10.40	4.48
全期間	4.09 ~ 14.59	9.23	1.00 ~ 25.21	10.14	3.68 ~ 14.82	9.23	0.09 ~ 10.96	5.16

表 1-22 試験区と対照区の高濃度酸素水供給時の底層DO濃度別の回数と割合

	全調査 回数	DO (mg/L)													
		m < 1		m < 2		m < 3		m < 4		m < 5		m < 6		m ≥ 6	
		回数	割合 (%)	回数	割合 (%)	回数	割合 (%)	回数	割合 (%)	回数	割合 (%)	回数	割合 (%)	回数	割合 (%)
試験区	49	0	0.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0	4	8.2	45	91.8
対照区	49	7	14.3	11	22.4	14	28.6	19	38.8	19	38.8	21	42.9	28	57.1

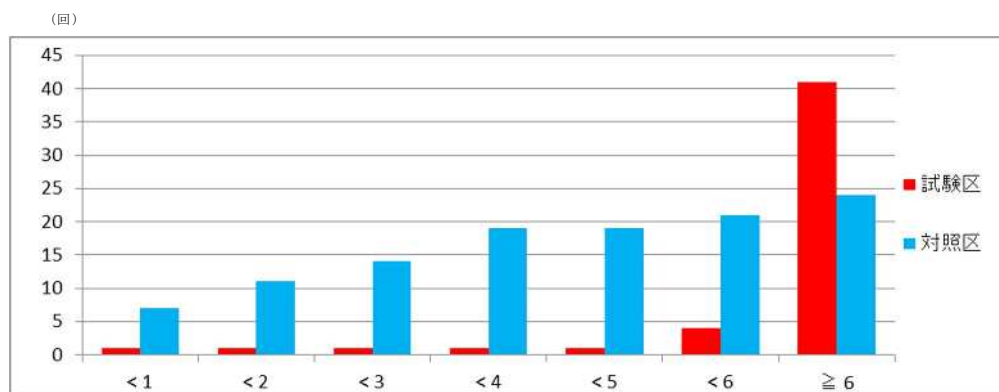


図 1-30 底層DOの濃度別回数

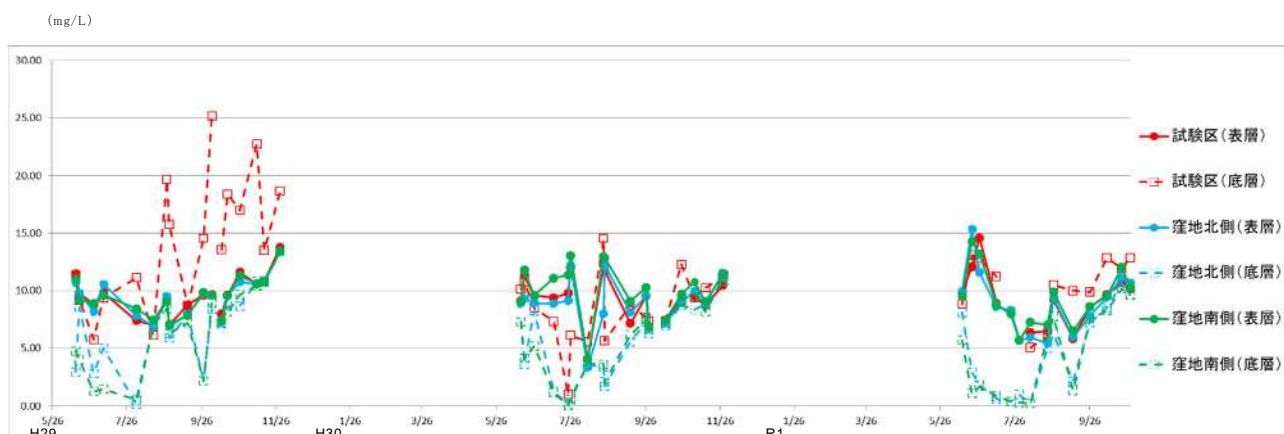


図 1-31 DOの推移(実線:表層、破線:底層)

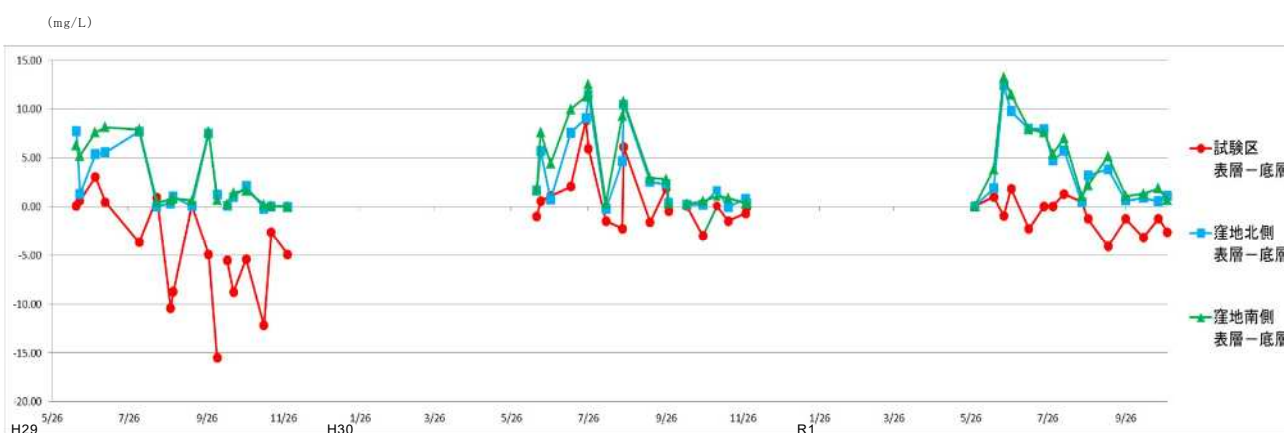


図 1-32 表層と底層のDO差の推移

ii) 面的改善範囲の検討

- いずれの年も試験区周辺では対照区と比較して底層 DO が面的に高い範囲を確認した。(表 1-23)
- 試験区周辺と対照区との比較で、最も湖水に酸素が溶け込んだのは令和元年 9 月 12 日で、3.0 mg/L 以上上昇した範囲が約 9,000 m²、2.0mg/L 以上上昇した範囲が約 60,000 m²であった。(表 1-23)
- 面的な底層 DO の上昇条件を検討するため、調査前日及び当日の降水量や風速を比較したところ、当日の最大風速が 2.0 m/s 以下で、波による影響がないと考えられる日に上昇が確認された。風向や降水量について、面的な DO 上昇との明確な相関は得られなかった。(表 1-24)

表 1-23 各年の DO の改善状況

		供給地点周辺		対照区等との差		面積		対照区等	
		mg/L		mg/L	以上	m ²		mg/L	
H29	9/27	3.5		1.0	mg/L 以上	約 10,000	m ²	2.5	mg/L
		4.5		2.0	mg/L 以上	約 2,500	m ²		
	10/27	10.3		1.0	mg/L 以上	約 17,000	m ²	9.3	mg/L
		10.7		1.5	mg/L 以上	約 10,000	m ²		
H30	6/26	6.5		2.0	mg/L 以上	約 45,000	m ²	4.5	mg/L
		7.5		3.0	mg/L 以上	約 7,500	m ²		
	8/23	2.4		0.5	mg/L 以上	約 30,000	m ²	1.9	mg/L
		2.9		1.0	mg/L 以上	約 2,200	m ²		
	9/13	6.4		0.5	mg/L 以上	約 16,000	m ²	5.9	mg/L
		6.9		1.0	mg/L 以上	約 2,400	m ²		
R1	7/11	2.5		1.0	mg/L 以上	約 36,000	m ²	1.5	mg/L
		3.5		2.0	mg/L 以上	約 3,500	m ²		
	7/30	2.0		1.0	mg/L 以上	約 48,000	m ²	1.0	mg/L
		3.0		2.0	mg/L 以上	約 7,000	m ²		
	9/12	5.5		2.0	mg/L 以上	約 60,000	m ²	3.5	mg/L
		6.5		3.0	mg/L 以上	約 9,000	m ²		

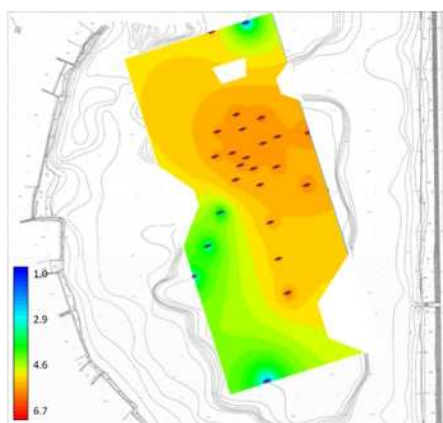
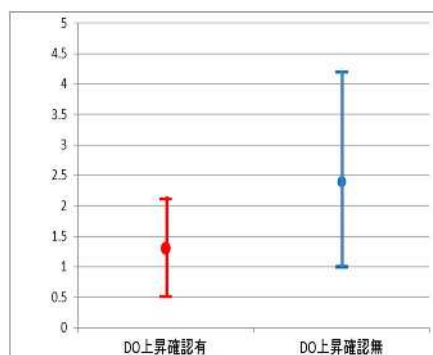
図 1-33 底層 DO の濃度分布図
(令和元年 9 月 12 日)

図 1-34 面的な DO 改善状況確認の有無と調査日の風速

表 1-24 面的な DO 改善状況確認の有無と調査日の風速

	調査当日の風速 (m/s)		
	平均	最少	最大
DO上昇確認有	1.3	0.5	2.1
DO上昇確認無	2.4	1	4.2

f) 酸素溶解率(供給酸素量に対する、DO 上昇に寄与及び水や底質で消費した酸素量の割合)

- ・ 酸素溶解タンクへの平均酸素供給量は、酸素発生装置の流量と酸素濃度から、平成29年度が約 117 kg O₂/day、平成30年度が約 123 kg O₂/day、令和元年度が 124 kg O₂/day であった。
- ・ 湖水に溶解済み、DO 上昇に寄与した酸素量は、前述の対照区との差とその面積から、1.4～20 kg O₂と試算された。(表 1-25)
- ・ 湖水の酸素消費速度(WOD:water oxygen demand)は、別事業で行った八郎湖調整池の測定値である 0.77 g O₂/m³/day を、底質の酸素消費速度(SOD)は、本調査の底質酸素消費速度の年間平均値である平成29年度で 0.48 g O₂/m²/day、平成30年度で 0.66 g O₂/m²/day を、令和元年度は試験結果が出ていないため、平成29、30年度の平均値、0.58 g O₂/m²/day を使用した。湖水に溶解込んだ酸素量と、湖水及び底質に消費された酸素量を合わせると、8～70 kg O₂/day であり、溶解タンクに供給された酸素量に対する割合は 7～56%、期間別では平成29年度で 7～12%、平成30年度で 12～46%、令和元年度 28～56%であった。(表 1-25)

表 1-25 酸素量と酸素溶解率

	対照区等との差 mg/L以上	面積 m ²		湖水の 酸素量 kgO ₂	水酸素 消費量 kgO ₂	底質酸素 消費量 kgO ₂	合計 酸素量 kgO ₂	溶解した 酸素量 kgO ₂	溶解率 %	
		重複除く								
H29	9/27	1.0	約 10,000	約 7,500	1.5	1.2	4.2	8	117	7
		2.0	約 2,500	約 2,500	1.0	0.39				
	10/27	1.0	約 17,000	約 7,000	1.4	1.1	7	14	117	12
1.5		約 10,000	約 10,000	3.0	1.5					
H30	6/26	2.0	約 45,000	約 37,500	15	5.8	29.7	56	123	46
		3.0	約 7,500	約 7,500	4.5	1.2				
	8/23	0.5	約 30,000	約 27,800	2.8	4.3	20	28	123	22
		1.0	約 2,200	約 2,200	0.4	0.3				
	9/13	0.5	約 16,000	約 13,600	1.4	2.1	11	15	123	12
		1.0	約 2,400	約 2,400	0.5	0.4				
R1	7/11	2.0	約 36,000	約 32,500	7	5.0	20.9	34	124	28
		3.0	約 3,500	約 3,500	1.4	0.5				
	7/30	0.5	約 48,000	約 41,000	8.2	6.3	28	46	124	37
		1.0	約 7,000	約 7,000	2.8	1.1				
	9/12	0.5	約 60,000	約 51,000	20.4	7.9	35	70	124	56
		1.0	約 9,000	約 9,000	5.4	1.4				

※高濃度酸素水は湖内で0.2mの層で拡散したと仮定(供給管の径)

(参考) 溶解タンクへの平均酸素供給量

	H29	H30	R1
酸素発生装置酸素流量平均値	62 N L/min	62 N L/min	62 N L/min
酸素濃度平均値	93.7 %	98.7 %	99.9 %
タンクに供給される酸素量(体積)	83,655 N L/day	88,119 N L/day	89,191 N L/day
タンクに供給される酸素量(重量)	117 kgO ₂	123 kgO ₂	124 kgO ₂

g) 水質(令和元年度の観測データは10月末までのものとする)

- SSは、試験区において平成29年度及び30年度に底層が高く推移した。令和元年度は、試験区の表層と底層、対照区との差は確認されていない。(図1-35、表1-26)
- PO₄-Pは、高濃度酸素水供給時の平均値が、表層、底層ともにほぼ定量下限値付近であり、供給による効果は明らかではない。(表1-27)
- 令和元年度調査結果では、NH₄-Nが昨年度までと比較して全体的に低く、6月の試験区表層を除いて定量下限値以下で推移した。(表1-29)
- クロロフィルaはアオコが確認された6月から高値を示した。しかし、アオコの異常発生に至らなかったことから、その後は減少に転じている。(図1-36、表1-30)

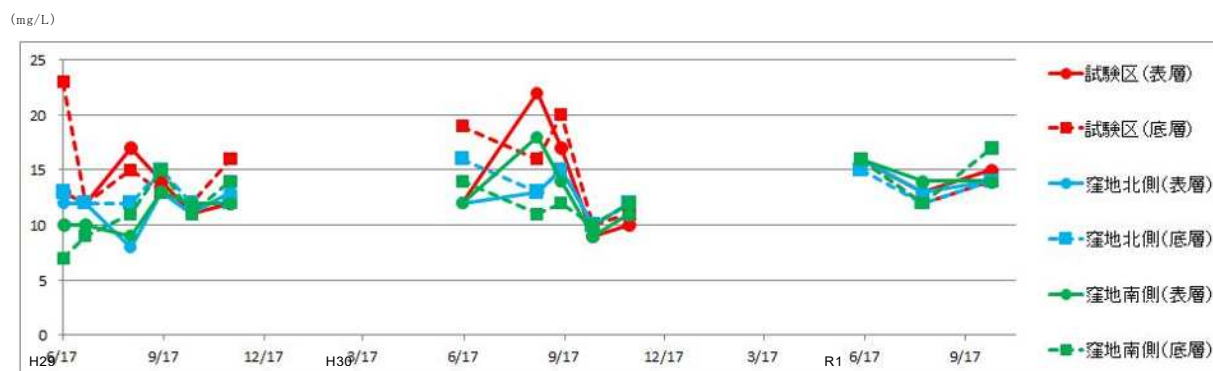


図 1-35 SSの推移

表 1-26 SSの推移

SS (mg/L)									
	試験区(表)		試験区(底)		対照区(表)		対照区(底)		平均
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	
H29	11 ~ 17	13	12 ~ 23	15	9 ~ 13	11	10 ~ 15	11	
H30	9 ~ 22	14	10 ~ 20	15	10 ~ 17	13	10 ~ 15	13	
R1	12 ~ 16	15	13 ~ 16	14	13 ~ 16	15	12 ~ 17	15	
全期間	9 ~ 22	14	10 ~ 16	15	9 ~ 17	13	10 ~ 16	13	

表 1-27 PO₄-Pの推移

PO ₄ -P (mg/L)									
	試験区(表)		試験区(底)		対照区(表)		対照区(底)		平均
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	
H29	0.003 ~ 0.003	0.003	0.003 ~ 0.003	0.003	0.004 ~ 0.004	0.004	0.005 ~ 0.005	0.005	
H30	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	
R1	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	<0.003 ~ <0.003	<0.003	
全期間	0.003 ~ 0.003	0.003	0.003 ~ 0.005	0.004	0.004 ~ 0.004	0.004	0.005 ~ 0.005	0.005	

表 1-28 NO₃-Nの推移

NO ₃ -N (mg/L)									
	試験区(表)		試験区(底)		対照区(表)		対照区(底)		平均
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	
H29	0.05 ~ 0.10	0.08	0.05 ~ 0.16	0.10	0.06 ~ 0.09	0.07	0.06 ~ 0.10	0.07	
H30	0.05 ~ 0.11	0.07	0.05 ~ 0.09	0.06	0.06 ~ 0.10	0.08	0.05 ~ 0.11	0.07	
R1	0.11 ~ 0.13	0.12	<0.05 ~ 0.09	0.09	<0.05 ~ 0.06	0.06	<0.05 ~ 0.08	0.08	
全期間	0.05 ~ 0.13	0.08	0.05 ~ 0.17	0.08	0.06 ~ 0.11	0.07	0.05 ~ 0.11	0.07	

表 1-29 NH₄-Nの推移

	NH ₄ -N (mg/L)									
	試験区 (表)		試験区 (底)		対照区 (表)		対照区 (底)			
	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
H29	0.07 ~ 0.19	0.13	0.06 ~ 0.19	0.15	0.08 ~ 0.22	0.13	0.07 ~ 0.27	0.16		
H30	0.05 ~ 0.11	0.11	0.05 ~ 0.12	0.09	0.10 ~ 0.12	0.11	0.11 ~ 0.13	0.12		
R1	< 0.05 ~ < 0.05	< 0.05	< 0.05 ~ < 0.05	< 0.05	< 0.05 ~ < 0.05	< 0.05	< 0.05 ~ < 0.05	< 0.05		
全期間	0.05 ~ 0.19	0.12	0.05 ~ 0.19	0.12	0.08 ~ 0.22	0.12	0.07 ~ 0.27	0.14		

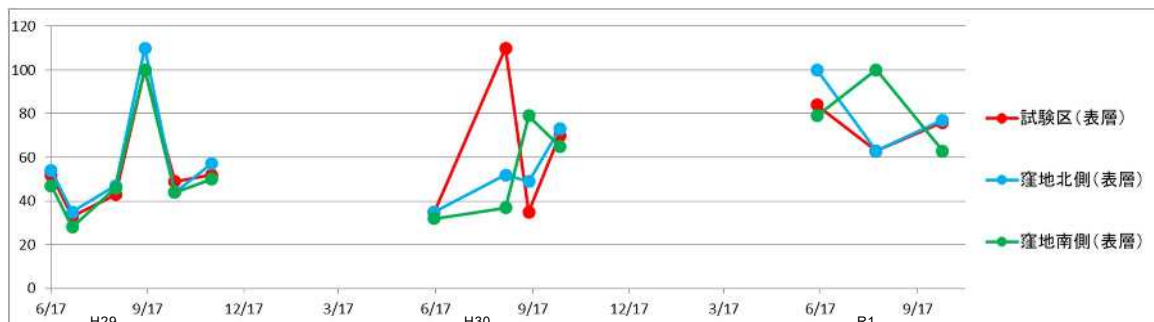


図 1-36 クロロフィル a の推移

表 1-30 クロロフィル a の推移

	St.1 (表)		対照区平均 (表)	
	範囲	平均	範囲	平均
H29	33 ~ 100	53	32 ~ 105	52
H30	35 ~ 110	63	36 ~ 76	59
R1	63 ~ 84	74	63 ~ 100	82
全期間	63 ~ 110	63	32 ~ 105	64

h) 底質(令和元年度の観測データは10月末までのものとする)

- ・ 試験区の底質は、高濃度酸素水供給後の6月調査より表層の酸化による茶褐色の変色が確認された。対照区では、11月末にわずかな変色が確認された。泥種は、試験区及び対照区の窪地南側がヘドロ状であったのに対し、対照区の窪地北側では砂状混じりのヘドロとなっており、試験区と比較する際の対象区の値は、窪地南側の結果を用いた。
- ・ 試験区の底質は、酸化還元電位以外の項目で対照区より低く推移し、酸化還元電位については対照区より高く推移した。令和元年度は、酸化還元電位の上昇が顕著であった。(図 1-37～図 1-42、表 1-31～表 1-36)
- ・ 試験区の底質間隙水は対照区と比較して、NO₃-N及びNO₂-Nが高く推移し、NH₄-N及びPO₄-Pは低く推移した。(図 1-43～図 1-46、表 1-37～表 1-40)
- ・ 底質の改善範囲を検討するため、吐出口からの距離別の底質酸化還元電位を測定した。酸化還元電位は供給地点において最も上昇し、対照区と比較して50～100mVの上昇が確認された。7月には、調査開始以来初めて酸化還元電位が正の値を示した。時期によって上昇範囲は異なるが、10月末時点で吐出方向50mまでの範囲で酸化還元電位の上昇が確認された。(図 1-47、図 1-41)
- ・ 供給地点からの方位別底質酸化還元電位調査では、全ての調査時に高濃度酸素水吐出方向である西側で酸化還元電位の上昇が確認された。また、吐出口南側においても底質酸化還元電位の上昇が確認されており、6月調査時には南側30m地点においても上昇していることを確認した。対して吐出口北側においては、高濃度酸素水供給による底質酸化還元電位上昇効果は低かった。(図 1-48、表 1-42)

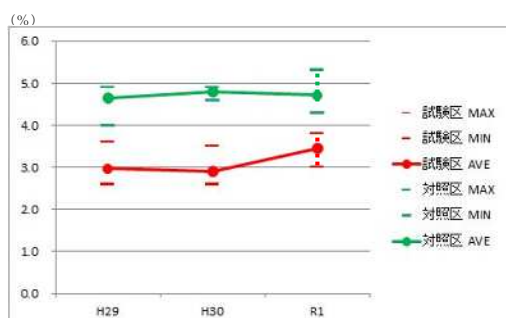


図 1-37 全炭素含量の推移

表 1-31 全炭素含量の推移

	全炭素含量(%)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	3.6	2.6	3.0	4.9	4.0	4.7
H30	3.5	2.6	2.9	4.9	4.6	4.8
R1	3.8	3.0	3.5	5.3	4.3	4.7
全期間	3.8	2.6	3.1	5.3	4.0	4.7

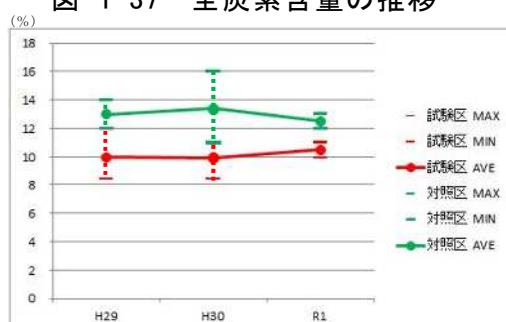


図 1-38 強熱減量の推移

表 1-32 強熱減量の推移

	強熱減量(%)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	12	8.4	10	14	12	13
H30	11	8.4	9.9	16	11	13
R1	11	9.9	10.5	13	12	13
全期間	12.0	8.4	10.1	16.0	11.0	13.0

表 1-33 CODsed の推移

	CODsed (mg・O/g)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	58	35	46	80	64	73
H30	51	28	39	69	66	68
R1	51	28	40	70	66	68
全期間	58	28	42	80	64	70

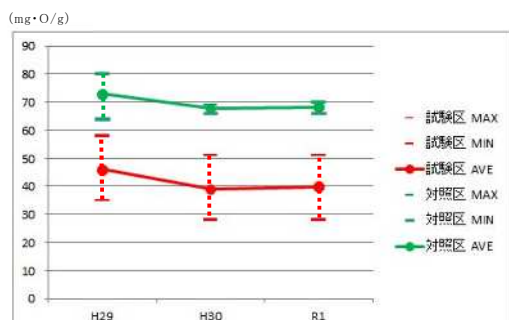


図 1-39 CODsed の推移

表 1-34 T-N の推移

	T-N (mg・N/g)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	3.9	2.7	3.4	6.5	5.7	6.2
H30	6.2	2.8	3.8	6.8	5.4	6.2
R1	5.2	3.1	3.9	6.4	5.2	5.8
全期間	6.2	2.7	3.7	6.8	5.2	6.0

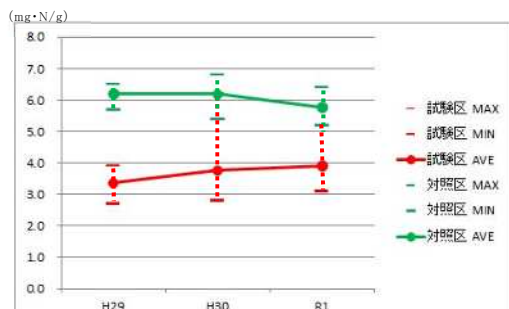


図 1-40 T-N の推移

表 1-35 T-P の推移

	T-P (mg・P/g)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	0.4	0.1	0.2	0.7	0.1	0.4
H30	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.4
R1	0.4	0.3	0.4	1.0	0.6	0.8
全期間	0.4	0.1	0.2	1.0	0.1	0.5

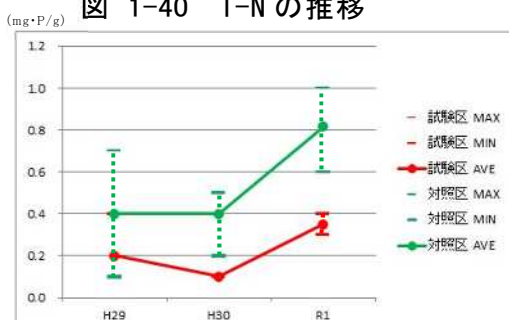


図 1-41 T-P の推移

表 1-36 酸化還元電位の推移

	酸化還元電位 (mV)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	-74	-207	-141	-141	-221	-172
H30	-84	-181	-138	-138	-234	-189
R1	82	-127	-89	-150	-214	-181
全期間	82	-207	-123	-138	-234	-181

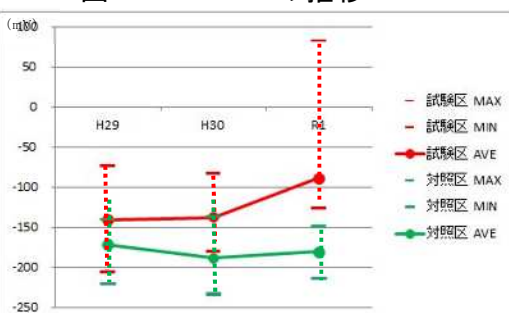


図 1-42 酸化還元電位の推移

表 1-37 間隙水 NO₃-N の推移

	NO ₃ -N (mg/L)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	0.06	< 0.05	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05
H30	0.11	< 0.05	0.08	0.06	< 0.05	0.06
R1	0.11	< 0.05	0.08	0.06	< 0.05	0.05
全期間	0.11	< 0.05	0.07	0.06	< 0.05	0.06

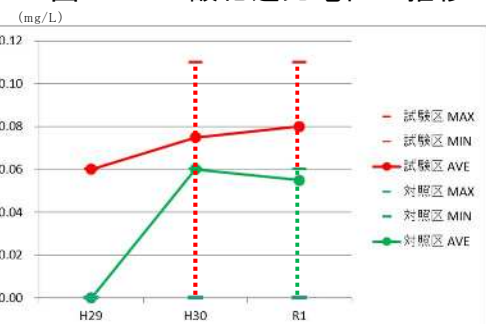


図 1-43 間隙水 NO₃-N の推移

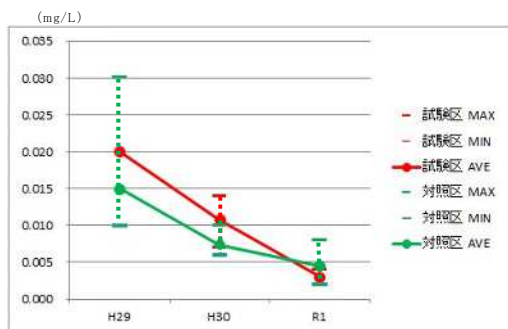


図 1-44 間隙水 NO₂-N の推移

表 1-38 間隙水 NO₂-N の推移

	NO ₂ -N(mg/L)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	0.030	0.010	0.020	0.030	0.010	0.015
H30	0.014	0.007	0.011	0.010	0.006	0.007
R1	0.004	0.002	0.003	0.008	0.002	0.005
全期間	0.030	0.002	0.011	0.030	0.002	0.009

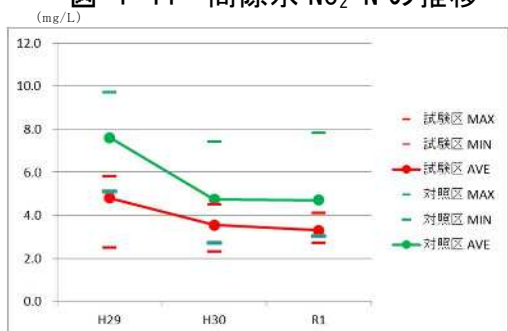


図 1-45 間隙水 NH₄-N の推移

表 1-39 間隙水 NH₄-N の推移

	NH ₄ -N(mg/L)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	5.8	2.5	4.8	9.7	5.1	7.6
H30	4.5	2.3	3.6	7.4	2.7	4.7
R1	4.1	2.7	3.4	7.8	3.0	5.4
全期間	5.8	2.3	3.9	9.7	2.7	5.9

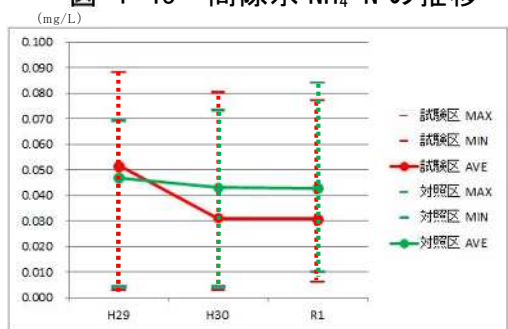


図 1-46 間隙水 PO₄-P の推移

表 1-40 間隙水 PO₄-P の推移

	PO ₄ -P(mg/L)					
	試験区			対照区		
	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE
H29	0.088	0.003	0.052	0.069	0.004	0.047
H30	0.080	0.003	0.031	0.073	0.004	0.043
R1	0.077	0.006	0.031	0.084	0.010	0.043
全期間	0.088	0.003	0.038	0.084	0.004	0.044

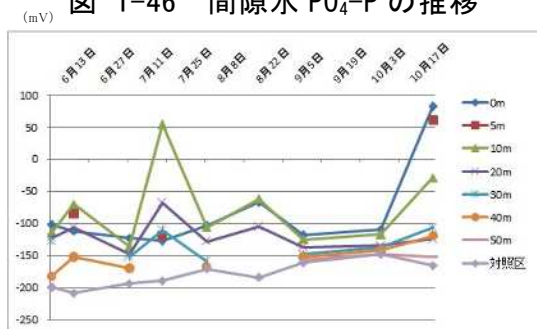


図 1-47 底質酸化還元電位の距離別

表 1-41 底質酸化還元電位の距離別推移

	(mV)									
	6月13日	6月21日	7月11日	7月23日	8月8日	8月27日	9月12日	10月10日	10月29日	
0m	-102	-112	-123	-127	-103	-67	-118	-110	82	
5m		-85		-119					61	
10m	-114	-70	-136	54	-106	-62	-125	-117	-29	
20m	-122	-106	-148	-68	-128	-105	-137	-135	-124	
30m	-128		-152	-111	-159		-148	-138	-107	
40m	-182	-152	-170		-168		-152	-142	-119	
50m	-182		-175		-171		-157	-148	-152	
対照区	-189	-208.5	-194	-189.5	-170.5	-184	-161	-147.5	-166	

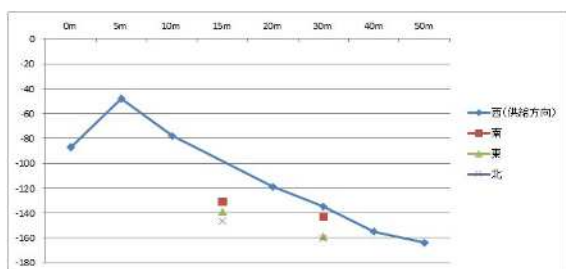


図 1-48 供給地点からの方位別底質酸化還元

表 1-42 供給地点からの方位別底質酸化還元電位

	西(供給方向)	南	東	北
0m	-87			
5m	-48			
10m	-78			
15m	-98	-131	-139	-147
20m	-119			
30m	-135	-143	-159	-161
40m	-155			
50m	-164			

i) アオコの発生状況(R1)

・目視でのアオコ発生状況調査では、6月中旬から10月下旬までアオコが確認された。Chl.a濃度が最大値となったのは、試験区、窪地内対照区(St.2及びSt.3)ともに6月13日となった。いずれの地点でも、植物プランクトンの細胞数は6月に多く、その全てがアファニゾメノン属であった。(表1-43)

優占種は、アオコの初期発生から8月前半までがアファニゾメノン属、8月下旬から10月上旬までマイクロキスティス属、10月下旬以降は再びアファニゾメノン属となった。これは試験区、対照区ともに同様であった。(表1-43)

・高濃度酸素供給による効果は明確ではない。また、地点別による藍藻類の確認種と水質のT-N、T-P濃度についても相関は見られず、関係性は不明である。

表 1-43 アオコ調査結果

St. 1		優占種 1mlあたりの群数 (細胞数)									
種類	6月13日	6月21日	7月11日	7月23日	8月8日	8月27日	9月12日	9月26日	10月10日	10月29日	
1	マイクロキスティス エルギノース					50 (25,000)	40 (20,000)	60 (30,000)	70 (14,000)		
2	マイクロキスティス ベーゼンベルギー				20 (4,000)	20 (4,000)			30 (6,000)	6 (1,200)	
3	マイクロキスティス ビリイジス										
4	マイクロキスティス ノバッセキ				20 (4,000)	10 (2,000)		4 (800)			
5	マイクロキスティス イクチオブラベ										
6	アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ										
7	アナヘナ スピロイデス			6 (48)					20 (160)	6 (48)	
8	アナヘナ フロスアクア			10 (200)	40 (800)	30 (600)	30 (600)	120 (2,400)	100 (2,000)		
9	アナヘナ アフィニス			2 (40)	20 (400)			30 (600)			
10	オッシラトリア テネイス										
11	アファニゾメノン フロスアクア	300 (60,000)	400 (80,000)	300 (60,000)	250 (50,000)	250 (50,000)	20 (4,000)	2 (400)	4 (800)	10 (2,000)	8 (1,600)
Chl.a (mg/m3)		84				63				76	

St. 2		優占種									
種類	6月13日	6月21日	7月11日	7月23日	8月8日	8月27日	9月12日	9月26日	10月10日	10月29日	
1	マイクロキスティス エルギノース					50 (25,000)	20 (10,000)	30 (15,000)	50 (10,000)		
2	マイクロキスティス ベーゼンベルギー				2 (400)	10 (2,000)	10 (2,000)	20 (4,000)	20 (4,000)	10 (2,000)	
3	マイクロキスティス ビリイジス										
4	マイクロキスティス ノバッセキ				10 (2,000)	10 (2,000)					
5	マイクロキスティス イクチオブラベ										
6	アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ										
7	アナヘナ スピロイデス								20 (160)	10 (80)	
8	アナヘナ フロスアクア			2 (40)	50 (1,000)	40 (800)	10 (200)	100 (2,000)	50 (1,000)	50 (1,000)	
9	アナヘナ アフィニス										
10	オッシラトリア テネイス										
11	アファニゾメノン フロスアクア	450 (90,000)	450 (90,000)	400 (80,000)	300 (60,000)	300 (60,000)	40 (8,000)	10 (2,000)	10 (2,000)	2 (400)	20 (4,000)
Chl.a (mg/m3)		100				63				77	

St. 3		優占種									
種類	6月13日	6月21日	7月11日	7月23日	8月8日	8月27日	9月12日	9月26日	10月10日	10月29日	
1	マイクロキスティス エルギノース					50 (25,000)	30 (15,000)	40 (20,000)	60 (12,000)		
2	マイクロキスティス ベーゼンベルギー					10 (2,000)	10 (2,000)	20 (4,000)	20 (4,000)	10 (2,000)	
3	マイクロキスティス ビリイジス										
4	マイクロキスティス ノバッセキ										
5	マイクロキスティス イクチオブラベ						4 (4,000)				
6	アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ										
7	アナヘナ スピロイデス										
8	アナヘナ フロスアクア			10 (200)	50 (1,000)	50 (1,000)	40 (800)	40 (800)	40 (800)	30 (600)	
9	アナヘナ アフィニス						10 (200)		10 (200)		
10	オッシラトリア テネイス										
11	アファニゾメノン フロスアクア	400 (80,000)	400 (80,000)	400 (80,000)	400 (80,000)	300 (60,000)	50 (10,000)	30 (6,000)	30 (6,000)	20 (4,000)	30 (6,000)
Chl.a (mg/m3)		100				63				72	

St. 4		優占種									
種類	6月13日	6月21日	7月11日	7月23日	8月8日	8月27日	9月12日	9月26日	10月10日	10月29日	
1	マイクロキスティス エルギノース					30 (15,000)	10 (5,000)	40 (20,000)	30 (6,000)		
2	マイクロキスティス ベーゼンベルギー					10 (2,000)		20 (4,000)	30 (6,000)	10 (2,000)	
3	マイクロキスティス ビリイジス									10 (2,000)	
4	マイクロキスティス ノバッセキ						4 (4,000)				
5	マイクロキスティス イクチオブラベ										
6	アナヘナ マクロスボラ変種クラッサ										
7	アナヘナ スピロイデス					4 (32)	30 (240)		10 (80)	10 (80)	
8	アナヘナ フロスアクア			10 (200)		30 (600)	50 (1,000)	20 (400)	20 (400)	10 (200)	
9	アナヘナ アフィニス							10 (200)			
10	オッシラトリア テネイス										
11	アファニゾメノン フロスアクア	500 (100,000)	500 (100,000)	500 (100,000)	450 (90,000)	200 (40,000)	40 (8,000)	10 (2,000)	4 (800)	10 (2,000)	20 (4,000)
Chl.a (mg/m3)		120				54				62	

4) 効果の評価と課題の整理（大久保湾）

(1) 効果の評価

a) 溶存酸素量の鉛直状況

定点 2 地点の鉛直データから、八郎湖の大久保湾では、D0 について水深による明確な躍層は形成されないが、水深 1.5~3m 程の深さで低下し、それは 7 月上旬~10 月上旬に見られた。八郎湖では、5~11 月の水中照度は 1.5m 程度で 0.1x になり、それより深い層には光が届かないことが確認されており（平成 24 年度八郎湖における COD 実態調査報告書）、水深 1.5m よりも深い層では植物プランクトンによる光合成が出来なくなり、湖水の上下の攪拌が無ければ D0 が低下するため、本調査の結果と合っている。

3 年間の 7~10 月の調査（n=29）では、対照区（2 地点の平均）の底層 D0 が、5mg/L を下回ったのは 34%、3mg/L を下回ったのは 14%であった。なお、対照区は毎年 3mg/L を下回るのは夏季であった。

b) 底層溶存酸素量の改善効果

底層 D0 について、最大値は試験区で 13.1mg/L、対照区で 11.8mg/L、平均値は試験区で 8.1mg/L、対照区で 7.6mg/L と、それぞれ試験区が 1.3mg/L（対照区の 12%）、0.5mg/L（対照区の 5%）高かった。

3 年間の 7~10 月の調査（n=30）では、試験区の底層 D0 が、5mg/L を下回ったのは 20%、3mg/L を下回ったのは 6.7%であったのに対して、対照区ではそれぞれ 34%、14%であり、試験区では D0 が高く維持された。

高濃度酸素水を供給しても、試験区底層で D0 が 1mg/L 台まで低下することが確認された。

POC が 0.3mg/L 未満の時は、それ以上であった時と比べ、試験区と対照区平均の底層 D0 差の差が大きく、高濃度酸素水供給による効果が出やすいことが示唆された。

供給地点周辺の底層で D0 の上昇が分かりやすかったのは、7~11 月の期間で、いずれの年も試験区周辺では対照区等に比べて、2mg/L 以上高い範囲を確認した。

試験区周辺と対照区等との底層 D0 の比較で、最も差が大きかったのは、平成 27 年 10 月 7 日で、3.5mg/L 以上高い範囲が約 2,000m²、最も広範囲に広がったのは、平成 28 年 8 月 25 日で、1.5mg/L 以上高い範囲が約 174,000m²であった。

面的に底層 D0 の上昇が確認できた日は、前日から当日までの降水量合計が 9mm 未満であった。なお、気象庁大潟観測所で観測した風速との相関は見られなかった。

湖水に溶け込んだ酸素量と湖水、底質で消費された酸素量を合わせると、13~86 kg-O₂/day であり、溶解タンクに供給された酸素量に対する割合は 11~69%であった。

c) 水質への影響

試験区と対照区での推移に大きな差は見られず、対策の効果は明確ではなかった。

なお、3年間の高濃度酸素水供給時の平均値で、底層において、試験区では対照区と比べて、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が高く、酸素水の供給が底層水での硝化や底質有機物の分解を促進した可能性がある。

d) 底層への影響

試験区の底質は、対策前に比べて、全炭素含量 56%、強熱減量 71%、T-P 97%、T-N 52% 減少、酸化還元電位 32%上昇など、分析項目の全てで改善が見られた。

底質間隙水について、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、対策前は対照区より試験区が高かったが、2年目には試験区で 87%、対照区で 64%減少し、試験区の方が低くなった。3年目には両区ともわずかに上昇したが、試験区が低い傾向は維持されている。なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は試験区で、対策前後において変化が無かったが、毎年対照区よりも高く推移した。

底質の酸化還元電位が改善される範囲は 10m 以上 20m 以内である可能性が高い。

酸素消費速度試験では、試験区は対照区に比べて H27 は $0.09\text{g/m}^2/\text{d}$ 大きかったが、H28 は $0.18\text{g/m}^2/\text{d}$ 、H29 は $0.11\text{g/m}^2/\text{d}$ 低く維持されたため、試験区では、分解される有機物量が減少したことが示唆された。

溶出速度試験では、試験区は対照区に比べて $\text{PO}_4\text{-P}$ は対策 2年目以降低下し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は 2年目以降上昇し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ は違いが見られなかった。底層を好気的な環境にすることで、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出は抑制されたと考えられる。窒素の溶出速度は D0 との関係は見られないとの報告（「湖沼底質環境・調査手引き」（案）平成 21 年 3 月 国土交通省東北地方整備局）があり、本調査でも同様であった。

e) アオコの発生への影響

試験区と対照区で発生量や優占種の推移に大きな差は見られず、対策の効果は明確ではなかった。

(2) 課題の整理

a) 水質及び底質への影響

水深 3m 程度の大久保湾という水域で底層に高濃度酸素水を供給すると、底層の貧酸素化を抑制し、供給地点から半径約 20m の底質の改善及び底質からの栄養塩の溶出抑制、さらに底層の湖水での硝化が促進された可能性がある。

しかし、大久保湾は降雨や風の影響で湖水の動きが複雑であり、高濃度酸素水が移流・拡散しやすいことが水質や底質の改善範囲に影響を及ぼす可能性がある。

同様の対策を水深 6m の窪地で実施している西部承水路では、試験区の底層 D0 が最大

約 25mg/L まで上昇しており、対照区に比べて底層 D0 が大きく改善している。

広く浅い湖沼で効果を得るために、湖沼の規模等の限界の検討が課題である。

b) 検討委員からの指摘事項

検討会委員からの指摘として、①底質の採取場所や深さを含む採取方法の記載が必要、②底質が改善したのではなく軽いものが吹き飛ばされた可能性（含水率や粒径がわかる項目で判断可能）、③持続効果の確認には時系列の整理が有効、④水質そのものより底質の改善に効果がある可能性がある、との助言を受けた。

(3) 設置費用及び維持管理費用（参考）

本対策に係る主な経費は、以下のとおりである。

- ① 装置費 … 高濃度酸素水供給装置一式（以下、装置）のリース費用
- ② 設置工事費 … 装置及び湖内配管等に係る設置及び撤去工事費
- ③ 運転管理費 … 装置の運転管理、維持管理に係る業務費
- ④ 電気代 … 装置の稼働に係る電気代

秋田県では、平成 27 年度から平成 29 年度の 3 か年で行った実証試験に係る費用は表 1-44 のとおりである。なお、装置稼働時の電気代は、1 日あたり 7 千円程度である。

表 1-44 平成 27 年度～29 年度の 3 箇年計画の実証試験にかかる費用(千円)

年度	H27 (実績)	H28 (実績)	H29 (実績・一部見込み)	合計
実施内容	装置設置 装置稼働	装置稼働	装置稼働 装置撤去	—
装置稼働期間	5ヶ月間	6ヶ月間	6ヶ月間	
①装置費	4,650	5,562	5,562	15,774
②装置工事費	12,000	0	1,380	13,380
③運転管理費	1,038	1,801	1,451	4,290
④電気代	1,000	1,059	1,059	3,118
年度計	18,688	8,422	9,452	36,562
1年あたりの費用				12,187

効果検証に係る分析費等は含んでいない。

これを元に、5 年間及び 10 年間実施した場合の対策に要する費用を以下に算出する。

（装置は 6 ヶ月間、24 時間稼働を想定）

- ・ 5 年間稼働 総額 53,406 千円（単年あたり 10,681 千円）
- ・ 10 年間稼働 総額 95,516 千円（単年あたり 9,552 千円）

貧酸素化の発生状況に応じた装置の効率的な運用方法を検討し、対策費用の削減について検討する必要がある。

5) 効果の評価と課題の整理（西部承水路）

(1) 効果の評価

西部承水路の浚渫窪地底層に、高濃度酸素水(25~30 mg/L)を連続供給(約 2.7 m³/min)することによる DO の状況や水質と底質への影響、アオコ発生状況について評価した。

a) 底層溶存酸素量の鉛直状況

- ・令和元年度の定点2地点の鉛直データから、西部承水路ではDOが水深1.0~3.5 m程で低下し、それは5月下旬~10月上旬に見られた。八郎湖調整池での別事業の調査^{*1}では、5~11月の水中照度は1.5 m程度で0 lxになり、それより深い層には光が届かないことが確認されており、水深1.5 m以深では植物プランクトンによる光合成が出来ずに湖水の上下の攪拌が無ければDOが低下するため、本調査のDOの低下する水深とほぼ合致する。
- ・3年間の高濃度酸素水供給中の調査(n=49)では、対照区の底層DOが4 mg/Lを下回った回数は19回(39%)、試験区では4 mg/Lを下回った回数は1回(2%)であり、試験区において貧酸素状態が抑制された。対照区において、底層DOが4 mg/Lを下回るのは6月~9月にかけて確認された。
- ・平成29年度から令和元年度までの、高濃度酸素水供給時における底層DOの最大値は、試験区で最大25.2 mg/L、平均10.1 mg/L、対照区で最大11.0 mg/L、平均5.2 mg/Lと、試験区では対照区と比較して最大値で14.2 mg/L、平均値で4.9 mg/L高くなっていた。
- ・試験区で表層と底層の DO 差が最も大きくなった調査日及び値は、平成 29 年度が 10 月 4 日 (15.7 mg/L)、平成 30 年度が 8 月 22 日調査 (11.4 mg/L)、令和元年度が 9 月 12 日調査 (4.2 mg/L) であり、令和元年度は、前年度までと比較して DO 差が小さくなった。

b) 底層溶存酸素量の面的改善状況

- ・試験区周辺と対照区との比較で、最も湖水に酸素が溶け込んだのは令和元年9月12日、3.0 mg/L以上上昇した範囲が約9,000 m²、2.0mg/L以上上昇した範囲が約60,000 m²であった。
- ・面的に底層DOの上昇が確認できたのは、日最大風速が2.0 m/s以下の波による影響がないと考えられる日であり、風向や降水量、表層と底層の水温差との明確な相関は得られなかった。
- ・湖水に溶け込んだ酸素量と湖水、底質で消費された酸素量を合わせると、8~70 kg-O₂/dayであり、溶解タンクに供給された酸素量に対する割合は7~56%で

あった。

- 平成 29 年度は、他の年度と比較して酸素溶解率が低く推移し、面的な広がりがあまり確認できなかった一方、供給地点での局所的な DO 上昇が多く確認された。高濃度酸素水を供給するパイプがやや下向きになっていたため、水流によって底が抉られて窪地ができ、高濃度酸素水がたまっていた可能性がある。

c) 水質への影響

- 試験区と対照区の推移に大きな差は見られず、対策の効果は明確ではなかった。
- 高濃度酸素水供給時の $\text{NO}_3\text{-N}$ は、平均値が試験区表層、底層ともに 0.08 mg/L 、対照区は表層、底層ともに 0.07 mg/L であり、試験区において対照区より高くなったが、年度によるばらつきが大きく、供給による効果は明確でない。
- 3 年間の高濃度酸素水供給時の $\text{NH}_4\text{-N}$ の値を比較すると、試験区底層において対照区より低く推移したが、年度によるばらつきが大きく、供給による効果は明確でない。
- ばらつきはあるが、年度によって試験区底層で $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少と $\text{NO}_3\text{-N}$ の上昇が確認され、高濃度酸素水供給により $\text{NH}_4\text{-N}$ が酸化された可能性がある。

d) 底層への影響

- ・酸化還元電位以外の項目で試験区は対照区より低く推移し、酸化還元電位については高く推移した。
- ・底質間隙水について、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が試験区で対照区よりも高く推移した。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は、1年目から試験区で対照区よりも低く推移した。高濃度酸素水の供給により、窒素分の酸化が促進された可能性が考えられる。
- ・底質の酸化還元電位が改善される範囲は、6月から30m以上40m未満で推移し、植物プランクトンや底泥中の生物が少なくなった10月末時点で50mまで確認されている。
- ・試験区では、高濃度酸素水供給時から底質表層の黄土色への変色が確認され、変色部についてはもれなく酸化還元電位の上昇が確認された。対照区において底質の変色は確認されず、酸化還元電位の上昇もなかった。データの積み上げは必要だが、八郎湖西部承水路において、底質の変色は酸化還元電位の上昇と関連付けることができると考える。
- ・試験区及び対照区において、表層と表層から10cm下層をそれぞれ分析すると、酸化還元電位を除く項目で表層が低く推移し、酸化還元電位は高く推移した。また全炭素含量について、変色が確認された表層と変色が確認されない下層の差が対照区と比較して試験区でより大きくなった。調査項目で大きな差が出たのは全炭素含量のみであるため、これは表層の変色の一因であると考えられる。(図 1-49～図 1-50)



令和元年 5月 29日 令和元年 10月 10日

図 1-49 試験区底質



令和元年 5月 29日 令和元年 10月 10日

図 1-50 対照区 (St. 3) 底質

e) アオコの発生への影響

- ・試験区と対照区で Chl-a 濃度や藍藻類の優占種の推移に大きな差は見られず、対策の効果は明確ではなかった。

※1:平成 24 年度八郎湖における COD 実態調査 平成 25 年 3 月

※2:「湖沼底質環境・調査手引き」(案)平成 21 年 3 月 国土交通省東北地方整備局

(2) 課題の整理

a) 改善効果

平成 28 年度～令和元年度に、八郎湖の西部承水路に存在する、水深 6 m 程度の浚渫窪地の底層へ高濃度酸素水を供給すると、底層の貧酸素化を抑制し、供給地点から吐出方向約 40 m 以上の範囲での底質の改善及び底質からの栄養塩類の溶出抑制、さらに底層の湖水での硝化の促進が確認され、底質には一定の改善効果を得ることができた一方、水質に対する影響については明確な改善効果が得られなかった。

高濃度酸素水供給による底層溶存酸素改善について、令和元年度は全ての調査時において試験区底層 DO が上昇、もしくは表層と同程度の濃度で維持されており、高濃度酸素水供給の効果がはっきりと確認できた。令和元年度は記録的な少雨であり、水の流れが少なかったことが一因と考えられる。局所的な底層 DO 改善には高い効果があることが実証された。

b) 検討委員からの指摘事項

検討会委員からの指摘として、①装置の効率として、酸素をどれだけ水に溶かして高濃度の酸素水として送り込めるのか、送り込んだ酸素水が実際にどのように効果を及ぼすのかという2つに話が分かれているので、うまく整理するとわかりやすくなる、②流動化と高濃度酸素水の影響が分類できないのであれば、高濃度酸素水と何らかの流動化を加えるといい結果になるという評価がよいのではないか、との助言を受けた。

(3) 設置費用及び維持管理費用（参考）

○装置設置及び維持管理

本対策に係る主な経費は、以下のとおりである。

- ① 装置費 ... 高濃度酸素水供給装置一式(以下、装置)のリース費用
- ② 設置工事費 ... 装置及び湖内配管等に係る設置費
- ③ 運転管理費 ... 装置の運転・維持管理に係る業務費
- ④ 電気代 ... 装置の稼働に係る電気代

秋田県で、平成 28 年度から令和元 年度の 4 か年で行った実証試験に係る費用は、下表のとおりである。なお、装置稼働時の電気代は、1 日あたり 7 千円程度である。

単位:千円

年度	H28	H29	H30	R1 (一部見込み)
実施内容	装置設置 装置稼働	— 装置稼働	— 装置稼働	— 装置稼働
装置稼働期間	5ヶ月間	6ヶ月間	6ヶ月間	6ヶ月間
① 装置費	無償提供	無償提供	無償提供	無償提供
② 装置工事費	13,908	0	0	0
③ 運転管理費	2,023	3,176	3,312	3,663
④ 電気代	1,000	1,098	1,081	947
年度計	16,931	4,274	4,393	4,610

※効果検証に係る分析費等は含んでいない。

これを元に、5 年間及び 10 年間実施した場合の対策に要する費用を以下に算出する。

(装置は各年 6 ヶ月間、24 時間稼働を想定、5 年目以降は R1 と同額の費用を想定)

- ・5 年間稼働 総額 34,818 千円(単年あたり 6,964 千円)
- ・10 年間稼働 総額 57,868 千円(単年あたり 5,787 千円)

○底層 DO の面的上昇に伴う単位面積当たりの改善

令和元年度に、底層 DO の面的上昇を確認した主な調査日と面積は以下のとおりである。

単位:m²

調査日	7 月 11 日	7 月 30 日	9 月 12 日	平均
面積	36,000	48,000	60,000	48,000

これを元に、単位面積当たりの底層 DO 改善に要する費用を、装置稼働年数別に以下に算出する。

- ・5 年間稼働 6,964 千円/48,000m² 138 円/m²
- ・10 年間稼働 5,787 千円/48,000m² 121 円/m²

1.2 長野県諏訪湖（底質改善、水草の刈り取り等）

1) 事業概要と期待される効果

(1) 事業概要

表 1-45 長野県諏訪湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	「シジミが採れる諏訪湖」再生手法検討事業
事業の目的	諏訪湖では、ヒシの異常繁茂による湖底の貧酸素状態が顕在化しているため、これを改善するための手法を試行して、その効果について検討する。
対策の概要	<ul style="list-style-type: none"> ○ 覆砂やシジミの放流による底質環境改善 ○ ヒシの適正管理 ○ 沖合で発生する貧酸素水塊の解消
対象年	平成 26 年度、平成 27 年度、平成 28 年度
事業実施前の湖沼の状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 諏訪湖の水質は中長期的には改善してきたが、COD、窒素は環境基準を達成しておらず、ここ数年は横ばいである。 ・ 平成 10 年代から沿岸域に浮葉植物のヒシが大量繁茂するようになり、密生状態になると水の流れがほとんどなくなり、貧酸素状態になる。 ・ 漁獲量は、ピーク時は 500t を超えたが年々減少し、平成 26 年度はピーク時の 1/20 まで減少した。貝類は、昭和 25 年には 200t 超の漁獲があったが、ここ数年は漁獲がない状況が継続している。 ・ 夏場には、湖底に貧酸素水塊が発生している。平成 28 年 7 月には、前例がない規模のワカサギの大量死が発生。原因特定には至らないが、DO 低下が要因の一つと考えられる。
事業実施場所	<p>A 上川河口付近で覆砂した試験ヤード(50m×50m)（渋崎区）</p> <p>B 中門川河口付近で覆砂した試験ヤード(65m×100m)（湖岸通り区）</p> <p>C 諏訪湖に流入する承知川河口付近の湖岸域（高浜区）</p> <p>D 補足調査として水質常時監視3地点（湖心、塚間川沖、初島西）</p>

(2) 対策の内容と期待される効果

a) 対策の内容

覆砂による底質改善、ヒシの効果的除去、貝類の生息

b) 期待される効果

【覆砂による底質改善】

泥状化した湖底を覆砂することにより、有機物の分解に伴う酸素消費を抑制するとともに、近年大量繁茂しているヒシの発生を抑制し、沿岸域のDOの改善につながる。

湖底からの栄養塩類の溶出抑制が期待できることから、植物プランクトンの発生を抑制でき、透明度が改善する可能性がある。

湖流改善により貧酸素水塊が沿岸域に及ぼす影響を小さくする可能性がある。

【ヒシの効果的除去】

ヒシを除去することは、停滞する湖流を改善することから、DOの改善が期待される。

複雑に密生した水中茎を除去することで魚介類の生息環境の改善が期待される。

ヒシ種子除去を発芽直後に実施することにより、作業の効率化、その後の繁茂抑制効果が期待される。

【貝類の生息】

淡水域でシジミを生息させた場合に、水中懸濁物質由来項目の浄化効果が確認されており、透明度が改善することが期待される。

貝類の生息環境を整えられれば、漁業関係者等による貝漁のため湖底の耕耘が行われることになり、湖底環境を好気状態に変え、底層DOを改善する効果が期待される。

2) 効果を把握するための調査

(1) 調査計画

a) 調査目的

本事業では、覆砂形状、規模等を考慮した覆砂ヤードを造成のうえ、シジミの生育調査、水質・底質調査などにより沿岸域の環境改善効果を確認するとともに、沖合及び周辺で発生する貧酸素水塊の影響や沿岸域貧酸素の原因になっているヒシの効果的な管理方法を調査して、沿岸域から沖合に向け効果的な水質保全対策を確立することを目的とする。

b) 調査地点及び調査内容

【渋崎区、湖岸通り区】

上川河口付近の湖岸域において、河川管理者（長野県諏訪建設事務所）が昨年度及び今年度造成した覆砂場所を試験ヤードとして活用し、試験ヤードとその周辺の形状の変化も調査する。

湖心域の底層で発生する貧酸素水塊が気象要因などで移動し、沿岸域を覆う可能性が懸念されることから、沖合において溶存酸素濃度を底層で連続測定する。なお、湖心の貧酸素の発生状況は、信州大学から調査データを提供していただき確認する。

湖岸域では、試験ヤード及び周辺の地形勾配等を考慮して酸素濃度を上層及び底層で連続測定する。また、生物指標としてシジミを放流して、その生存状況をモニタリングする。なお、渋崎区では直播によるモニタリングも実施する。

試験ヤードの水質・底質調査、植物プランクトン調査、湖内環境調査等を実施することにより湖水特性を把握する。

昨年度造成した覆砂場所での底生生物の定着状況を把握する。

諏訪湖は9月に貧酸素の発生頻度が高まる傾向がみられるが、この要因は十分解明されていない。9月はヒシの解体、腐敗が始まる時期にあたるため、この時期に供給される溶存有機物によって酸素消費が加速することもその要因と考えられることから、室内実験によりヒシの枯死による有機物の溶出、酸素消費等について確認を行う。

【高浜区】

ヒシ繁茂エリアにおいて、湖底に沈んでいるヒシ種子の芽が出始める5月頃に、金属製の爪のあるレーキにヒシ種子を草体ごと絡めて除去する。

ヒシ種子除去時に湖底を攪拌することによる水質への影響を評価するとともに、除去後の水生植物の繁茂状況を確認する。

ヒシ種子除去エリアにおいて、ヒシ種子量調査を行い、除去効果を検証するための材料とする。

表 1-46 調査内容一覧(H28)

区分	調査名	調査内容	調査項目	時期	回数	調査場所			備考
						渋崎区	湖岸通り区	高浜区	
調 植 水 査 物 生	水生植物 分布調査	湖全体の水生 植物の繁茂状 況を確認する。	群落の種類、 大きさ、面積	8月	1	湖周全域			
環 境 調 査	水質調査	環境条件の違 いによる水質変 化を把握する。	DO、SS、ORP、 COD、D-COD、 TOC、DOC、 T-N、T-P、 D-T-N、 D-T-P、 NO ₃ -N、 NO ₂ -N、 NH ₄ -N、PO ₄ -P	8~12月	6	①②※ ¹ ③⑤⑥			
				8~12月	5		⑦⑧⑨⑩ ⑫⑬⑭		⑫以外 は4回
				5月	3			⑮⑯	
	底質調査	環境条件の違 いによる底質変 化を把握する。	IL、T-N、T-P、 H ₂ S、粒度分布	8月、11月	2	③⑤⑥			⑥以外 は1回
				11月、12月	2		⑦⑧⑨⑩ ⑪⑫⑬⑭		⑫⑬⑭ は1回
	DO連続測 定調査	DO連続測定に より、DO変動を 把握する。	DO、水温	8月~12月	連続	①②④※ ² ③⑤⑥			③は 上下層
				9月~12月	連続		⑧⑩⑫⑬⑭		⑬は 上下層
	DO補足調 査	水質常時監視地 点におけるDOを 把握する。	DO、水温	6月~12月	7	湖心、初島西、塚間川沖			
	生物モニタ リング	環境条件の違 いによるシジミ の生育状況を 調査する。	生残個体数、個 体重、殻長	10月~12月	2	③⑤⑥			生簀
				7月~11月	3	⑥			直播(覆い あり、なし)
				10月~12月	2		⑦⑧⑨⑩ ⑫⑬⑭		生簀
	植物プラン クトン調査	環境条件の違 いによる植物プ ランクトンの状 況を把握する。	Chla定量、植物 プランクトン同定	8月~12月	6	③⑥			
				8月~12月	4		⑧⑩⑭		
酸素消費 速度調査	枯死ヒシから溶 出する有機物の 分解に消費され る酸素消費量を 把握する。	DO	11月~12月	-	室内実験				
環 境 改 善 対 策 調 査	埋土ヒシ 種子量調査	底泥を採取し、 ヒシ種子の埋土 量を推定する。	ヒシ種子量	5月、11月	3			⑮	
				5月、11月	2			⑯	
	水生植物 継続観察	ヒシ種子除去後 の水生植物の 繁茂状況を確認 する。	群落の種類、大 きさ、繁茂状況	5~11月	7			⑮⑯	
	底生生物 定性調査	底生生物の生 息状況を確認す る。	底生生物の種 類、量	7月	1	⑥※ ³			採泥
8~9月				1	③⑤⑥	⑦⑧⑨⑩ ⑫⑬⑭※ ⁴		エビカ ゴ	

○調査場所の白抜き番号は対照区とする。

※1、2、3 対照区を設定していない。

※4 覆砂施工前の調査であるため対照区を設定していない。

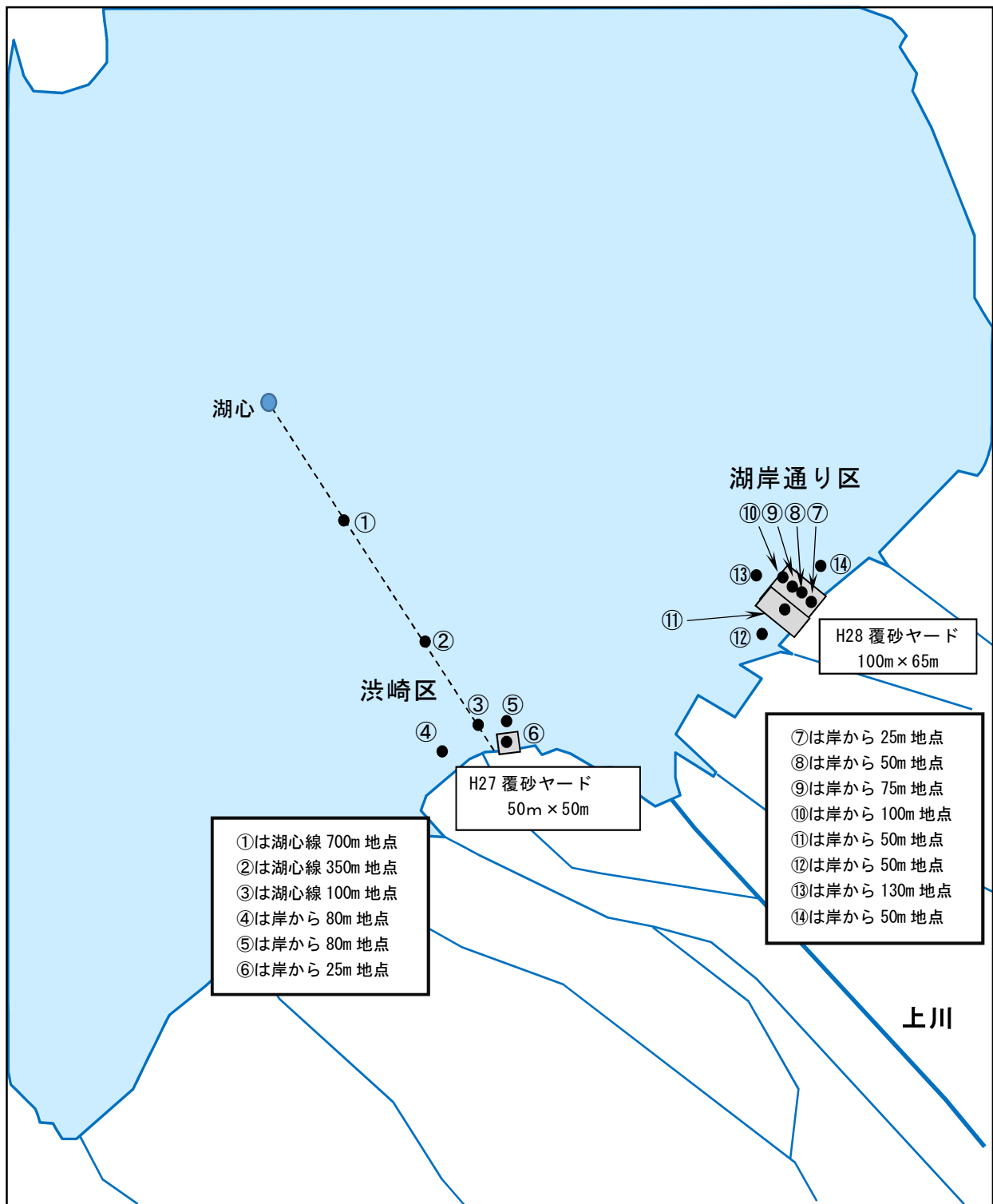


図 1-51 渋崎区及び湖岸通り区(諏訪市)の調査地点

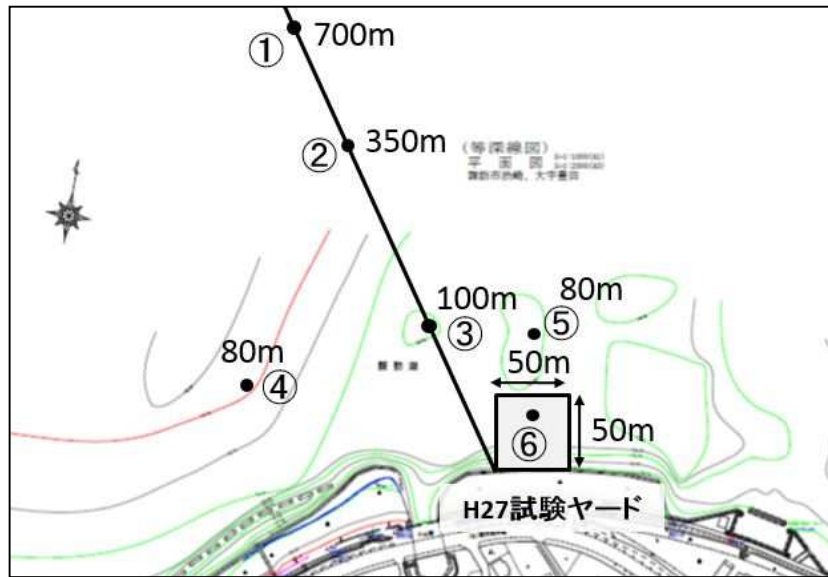


図 1-52 渋崎区詳細図

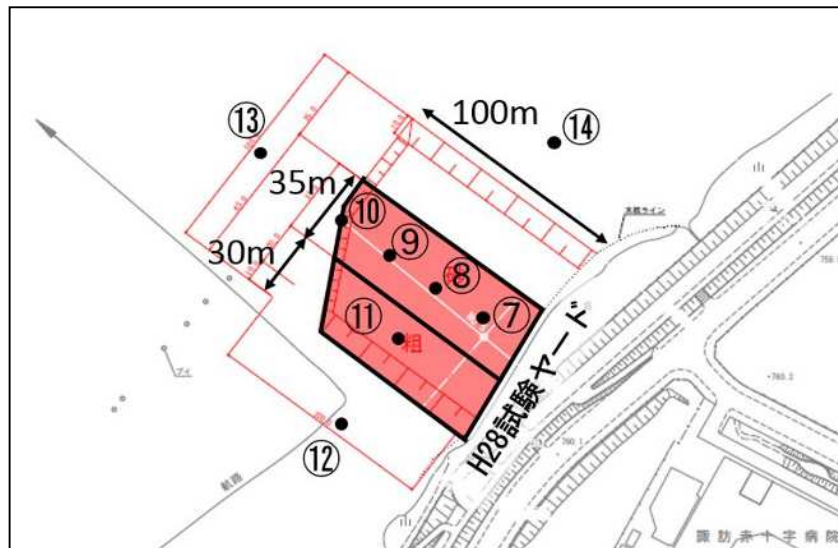


図 1-53 湖岸通り区詳細図

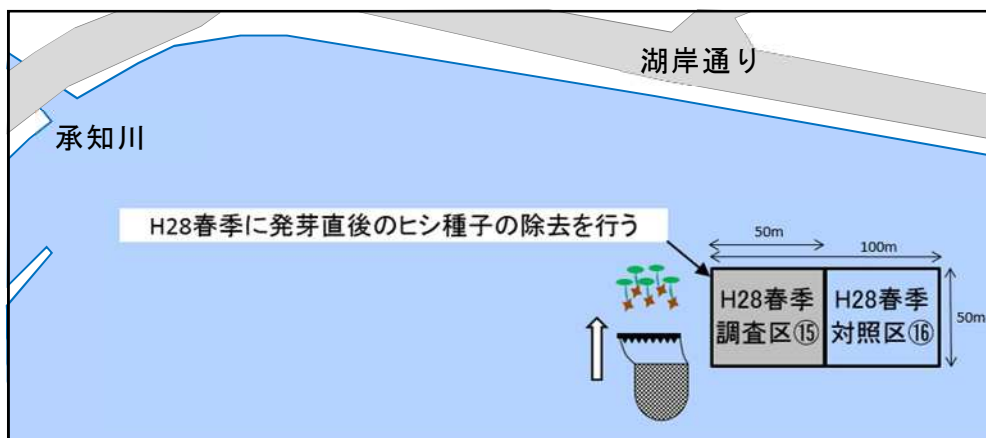


図 1-54 高浜区(下諏訪市)の調査地点

(2) 主な調査結果と考察

a) 覆砂やシジミの放流による底質改善

i) 水質

H27 年度に覆砂した渋崎区において、湖底から 20cm の底層水を採取し、覆砂による水質への影響を調査した。地点⑥を試験区、地点③及び地点⑤を対照区として pH、DO、COD、SS、T-N、T-P、N-NH₃、EC の経月変化をそれぞれ図 1-55 に示した。8 月は pH、DO、COD、SS、T-N、T-P がいずれも高い傾向となっており、風の影響により沿岸域に植物プランクトンが押し寄せられたためと考えられる。なお、今年度の調査では覆砂による水質改善の効果は確認できなかった。

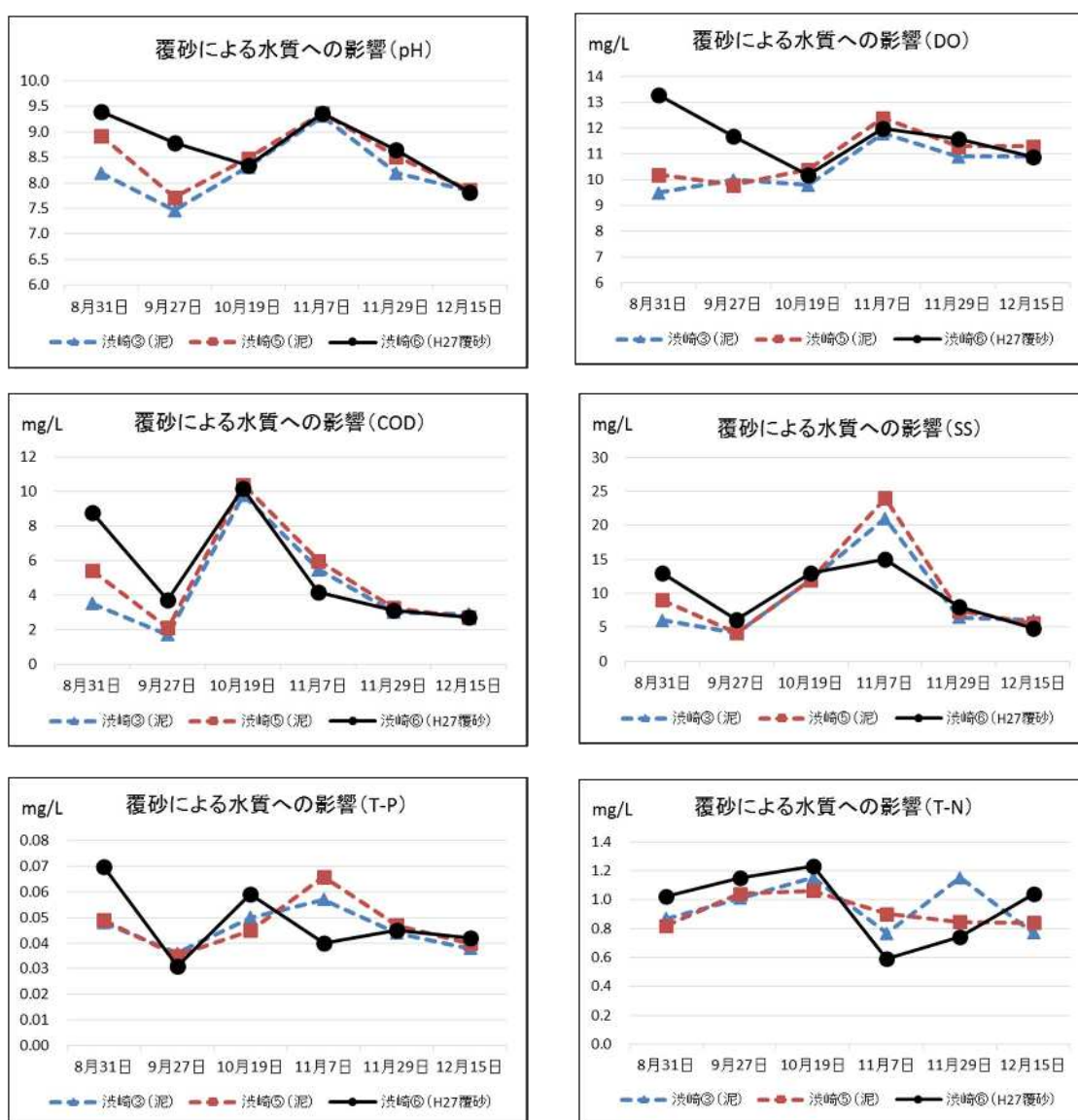


図 1-55(1) 渋崎区における水質の経月変化(H28 年度)

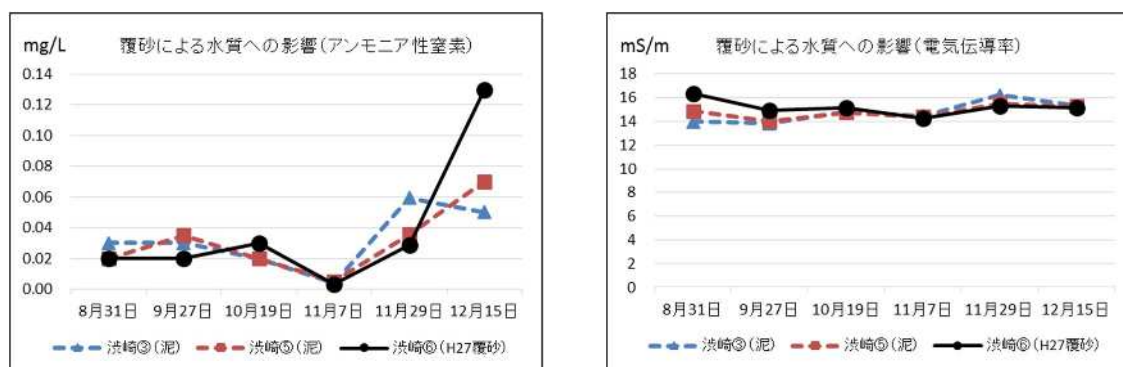


図 1-55(2) 洪崎区における水質の経月変化(H28 年度)

H28 年度に覆砂した湖岸通り区において、湖底から 20cm の底層水を採取し、覆砂による水質への影響を調査した。地点⑦～⑩を試験区、地点⑫～⑭を対照区として pH、DO、COD、SS、T-N、T-P、N-NH₃、EC の経月変化をそれぞれ図 1-56 に示した。8 月は pH、DO、COD、SS、T-P がいずれも高い傾向となっており、風の影響により沿岸域に植物プランクトンが押し寄せられたためと思われる。また、湖岸通り区⑦、⑧において、覆砂後にアンモニア性窒素が低下した。これは、覆砂により底泥からの溶出が抑制されたことと、⑦、⑧は覆砂場所の中でもより岸側に位置し、水の入れ替わりが起きにくいエリアであるためと思われる。その他の項目においては、覆砂による水質改善効果は確認できなかった。

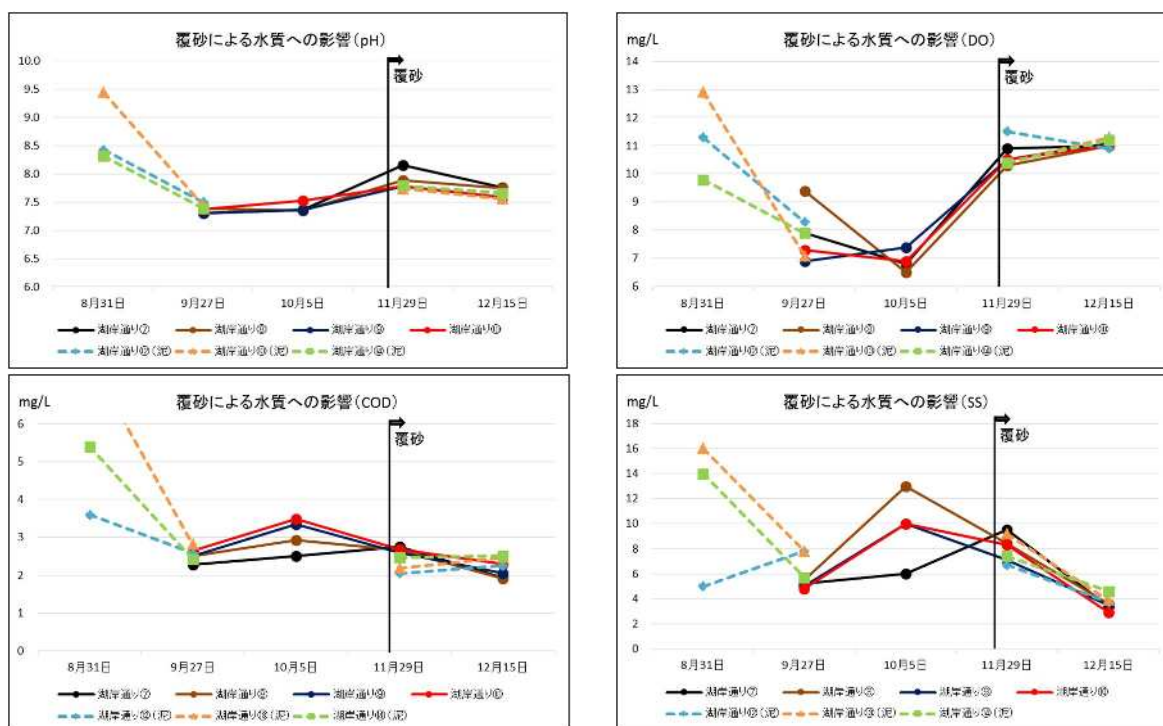


図 1-56(1) 湖岸通り区における水質の経月変化(H28 年度)

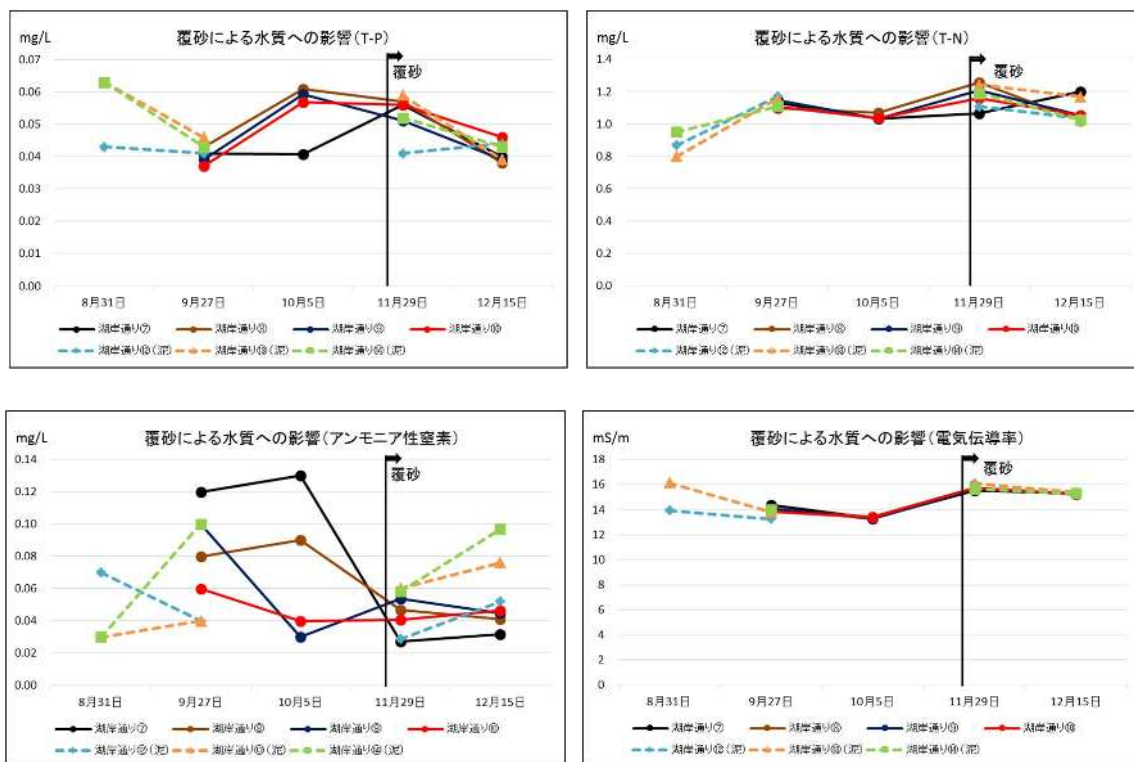


図 1-56(2) 湖岸通り区における水質の経月変化(H28 年度)

ii)底質

H27 年度に覆砂した洪崎区において、底質の変化を継続調査した。地点⑥を試験区、地点⑤を対照区として強熱減量、全窒素、全リンの経月変化をそれぞれ図 1-57 に示した。H27 年 8 月に覆砂して以降、1 年以上を経過しても底質状況は変化がなかったことから、覆砂状態が保持されているものと思われる。なお、全硫化物は全ての検体において定量下限値未満 (<0.01mg/L) であった。

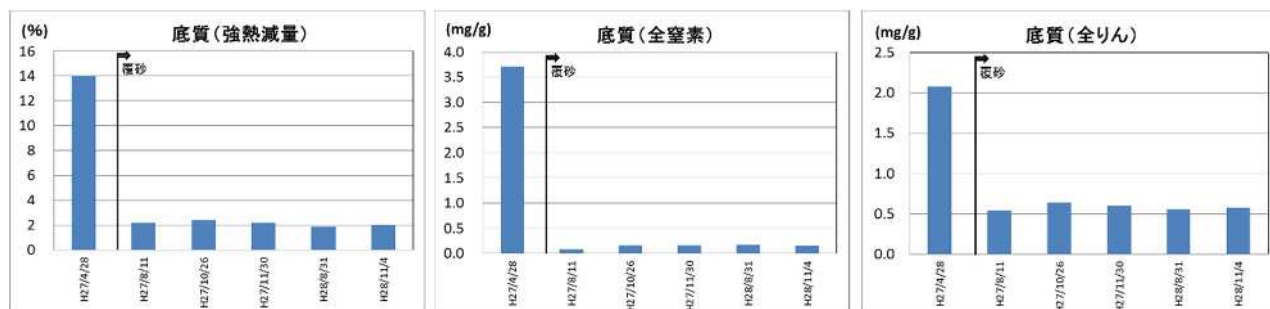


図 1-57 洪崎区覆砂ヤードにおける底質測定結果

また、H28 年度に覆砂した湖岸通り区において、覆砂による底質の変化を調査した。地点⑦～⑩を試験区、地点⑫～⑭を対照区として強熱減量、全硫化物、全窒素、全リンの経月変化をそれぞれ図 1-58 に示した。泥地⑫～⑭に比べて覆砂場所⑦～⑨、⑪の強

熱減量、全硫化物、全窒素、全リンは低い値を示した。また、測定結果より覆砂端⑩は、泥地⑫～⑭に近い性状を示していた。なお、泥地⑫、⑬、⑭は、その順番に各項目の値が高くなっている。これは、上川河口からの流向から、その影響を受けやすい場所のほうが底質環境は良いことを示している。

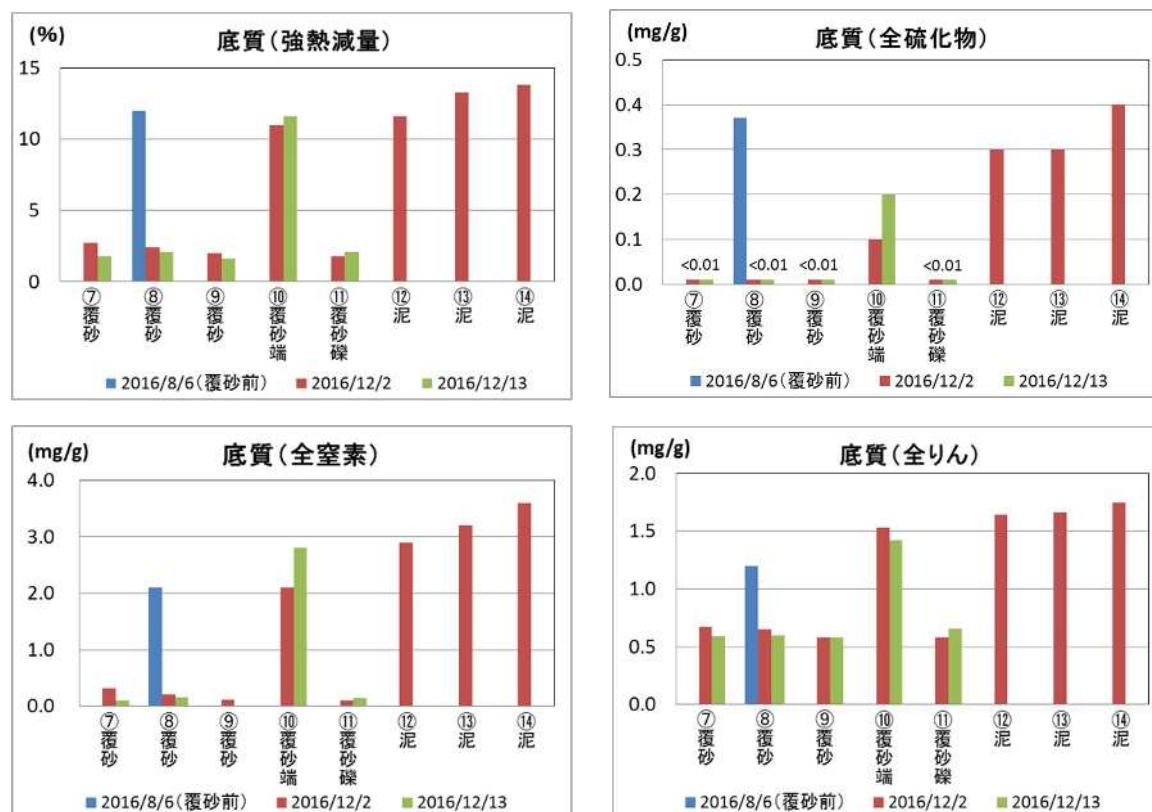


図 1-58 湖岸通り区覆砂ヤードにおける底質測定結果

底質調査法により、礫(粗)($4750\mu\text{m}$ ～)、礫(細)($2000\sim 4750\mu\text{m}$)、砂(粗)($425\sim 2000\mu\text{m}$)、砂(細)($75\sim 425\mu\text{m}$)、粘土・シルト($\sim 75\mu\text{m}$)の5つの区分で粒度分布組成を求めた。

全底質に対する $2000\mu\text{m}$ 以上の礫の割合が低いことから、 $2000\mu\text{m}$ 未満の粒度について比較した。洪崎区及び湖岸通り区の粒度分布を図1-59に示した。

洪崎区は、覆砂後のH27年8月に $75\mu\text{m}$ 未満の割合(泥分率)が4.7%であったが、H28年8月、11月の調査でも3%未満となっていた。これは強熱減量等の調査結果と結びつくものである。

湖岸通り区は、覆砂によって泥分率が43.3%から3%未満となった。なお、覆砂端⑩は性状としてはほぼ泥質であった。覆砂断面を図1-60に示す。

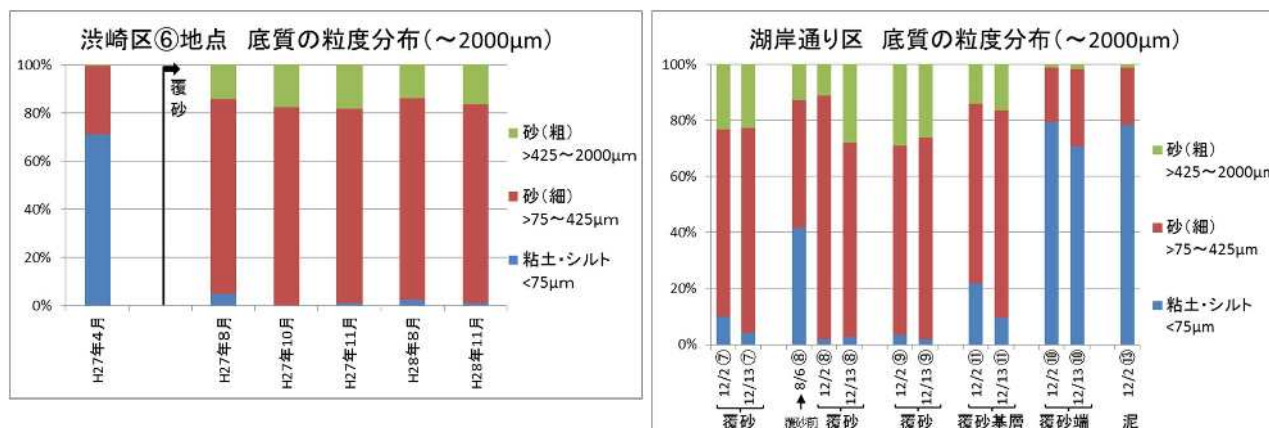


図 1-59 底質の粒度分布(左: 洪崎区、右: 湖岸通り区)

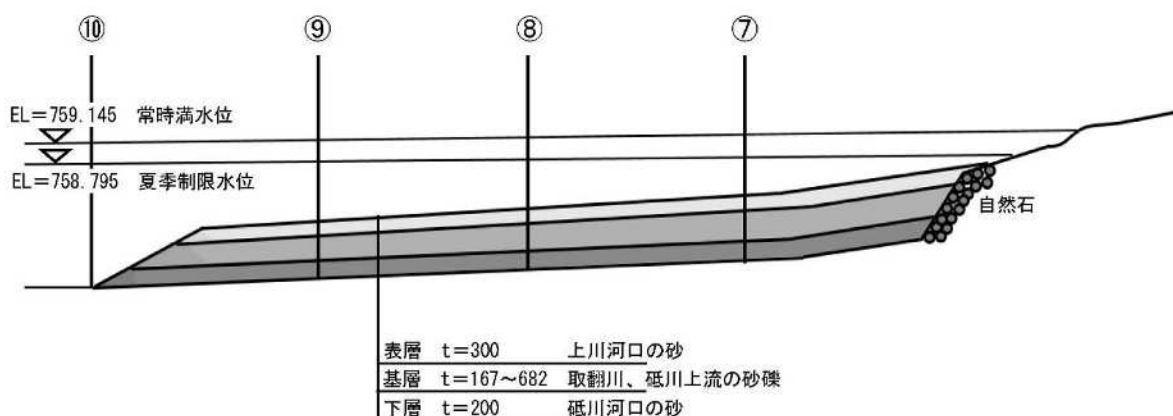


図 1-60 湖岸通り区における覆砂断面図

iii) シジミの生簀飼育試験

1 調査地点あたり 2 個 1 組のステンレス製の生簀（縦 40cm、横 29.5cm、深さ 10cm）それぞれにシジミ 40 個と各調査地点の砂又は泥を約 8cm の厚さになるように入れ、毎月 1 生簀ずつ取り出して、生残率、殻長及び個体重を測定した。最終月の結果を図 1-61 に示す。⑦～⑩の 4 地点については、調査区の造成工事が遅れたため、生簀に造成で用いる予定の砂を入れて⑥地点に仮置きし、11 月 30 日に所定の地点へ移動した。12 月 26 日の生残率は 43%～78%であり（表 1-47）、平成 27 年 7 月～12 月に同様の方法で行った洪崎区での生残率 90%～98%に比べて本年度は著しく低かった。また、調査区（砂地）の生残率は対照区（泥地）に比べて有意に低かった。なお、平均個体重及び平均殻長は開始時と比べて、また、砂地、泥地を含めて生簀間に有意差は見られなかった。



③地点に使用した生簀(シジミ収容前) ③地点に使用した生簀(回収時)③地点で回収したシジミ(11/30)

図 1-61 ③地点の生簀とシジミの状況

表 1-47 シジミの生残率(H28 年度)

調査日\試験区	渋崎区			湖岸通り区						
	泥地		砂地	砂地				泥地		
	③	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑫	⑬	⑭
11月30日	68%	73%	58%	68%	63%	70%	53%	78%	70%	70%
12月26日	68%	53%	43%	45%	45%	58%	56%	73%	65%	78%

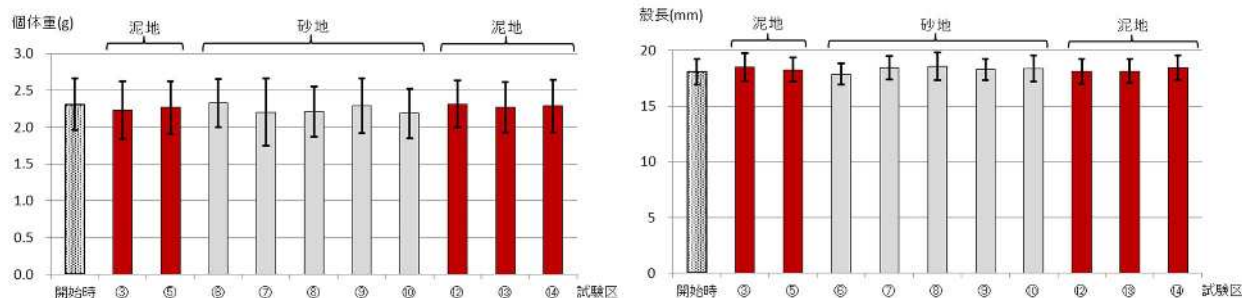


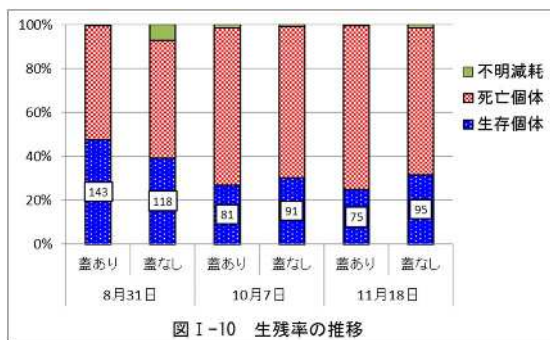
図 1-62 2016/12/26 時点のシジミの成長(左:平均個体重、右:平均殻長)

縦線は標準偏差を示す

iv)シジミの直播試験

H27 年度に造成した試験ヤードにおいて、縦横 1 m、高さ 20cm の金属製枠を水深約 0.6m 地点に 6 区画設置し、このうち 3 区画はコイ等の食害を防ぐため、テトロンネットの蓋を設置した。各区画には 7 月 15 日にヤマトシジミを 300 個体ずつ放流し、1 ヶ月に 1 回程度、蓋あり、蓋なしの各 1 区画内のヤマトシジミを回収して、生残率、殻長及び個体重を測定した。その結果を図 1-63～図 1-65 に示す。11 月の試験終了時の回収率は蓋あり区 99.3%、蓋なし区 98.3%、生残率は蓋あり区 25.0%、蓋なし区 31.7%で有意差はなく、蓋なし区においてもコイ等による食害はなかったと考えられた。また、7 月か

ら11月までの成長は、蓋あり区、蓋なし区ともに昨年同一地点で実施した生簀での調査と同程度であった。



直播の枠と網

数字は生残個体数を示す

図 1-63 直播シジミ生残率の推移(H28 年度)

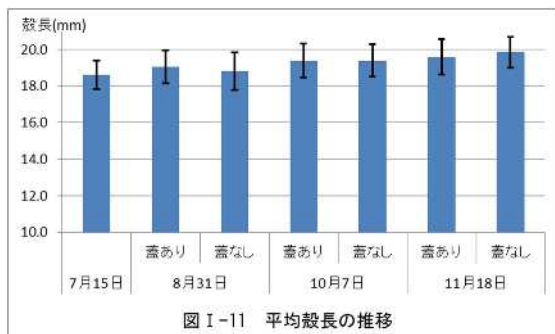


図 1-64 直播シジミ平均殻長の推移

縦線は標準偏差を示す

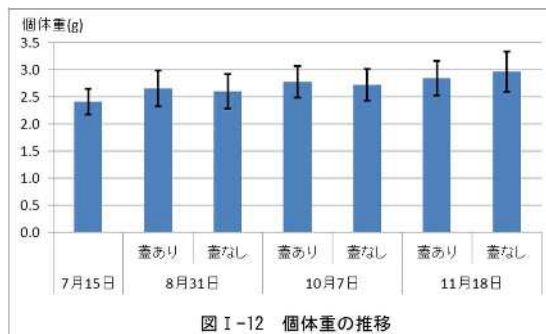


図 1-65 直播シジミ個体重の推移

縦線は標準偏差を示す

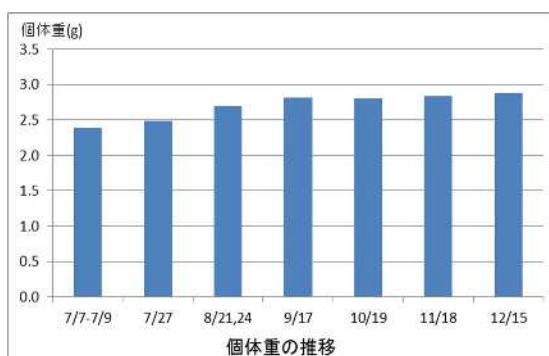
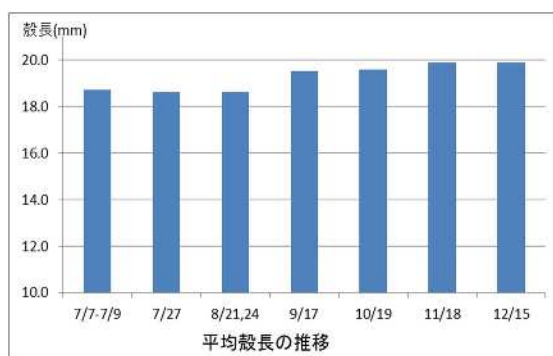


図 1-66 参考:平成 27 年度生簀による調査結果(左:平均殻長、右:個体重)

b) ヒシの適正管理

i) 種子除去による水質への影響

高浜区におけるヒシ種子除去作業による水質への影響を調査した。高浜区⑮を試験区、高浜区⑯を対照区として pH、DO、COD、SS、T-N、T-P の経月変化をそれぞれ図 1-67 に示した。ヒシ種子除去作業により pH、DO が特に表層において高くなったことが分かる。これは、一部展葉していたヒシを種子ごと除去したことで光が入り、植物プランクトンによる光合成が促進されたことによるものと思われる。また、ヒシ種子除去作業により底泥が攪拌され SS が高くなることが想定されたが、作業終了 3 時間後に実施した水質調査からは、その影響は確認されなかった。この結果から、レーキによるヒシ種子除去作業により、水質悪化は認められないことが分かった。

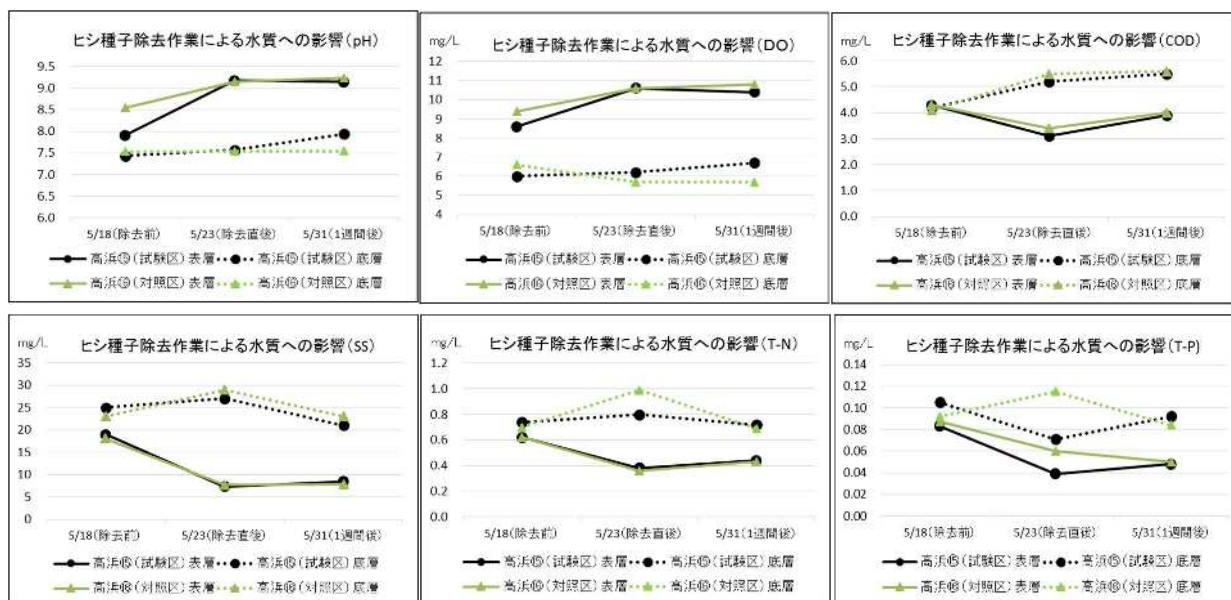


図 1-67 pH、DO、COD、SS、T-N、T-P の経月変化

(表層: 湖面から 50cm、底層: 湖底から 20cm)

ii) ヒシ種子除去後の繁茂状況

平成 26 年度事業では、春季にヒシ種子の除去をすることで、実施年度におけるヒシ繁茂抑制効果がみられたため、ヒシ展葉前にヒシ種子の除去を行い、除去区と対照区について 6 月～11 月まで、写真撮影によるヒシ占有率調査及び目視調査による水生植物の群落確認を行った。ヒシ占有率の月別推移を図 1-68 に、ヒシの繁茂状況の様子を図 1-69 にそれぞれ示す。6、7 及び 10 月の占有率は、⑮調査区が⑯対照区より低かったが、8、9 月には 2 地区の占有率に差は見られなかった。この結果から、8 月以降においては、2 地区のヒシの繁茂状況に殆ど違いがみられなくなったことが分かる。なお、2 地区ともヒシ以外の植物は確認されなかった。

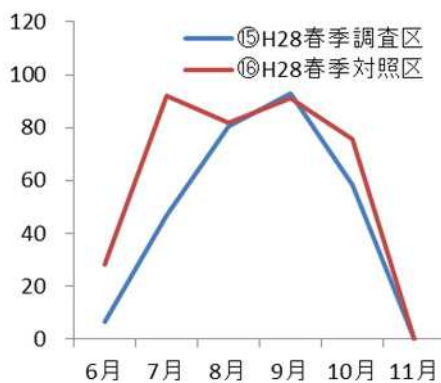


図 1-68 ヒシ占有率の月別推移

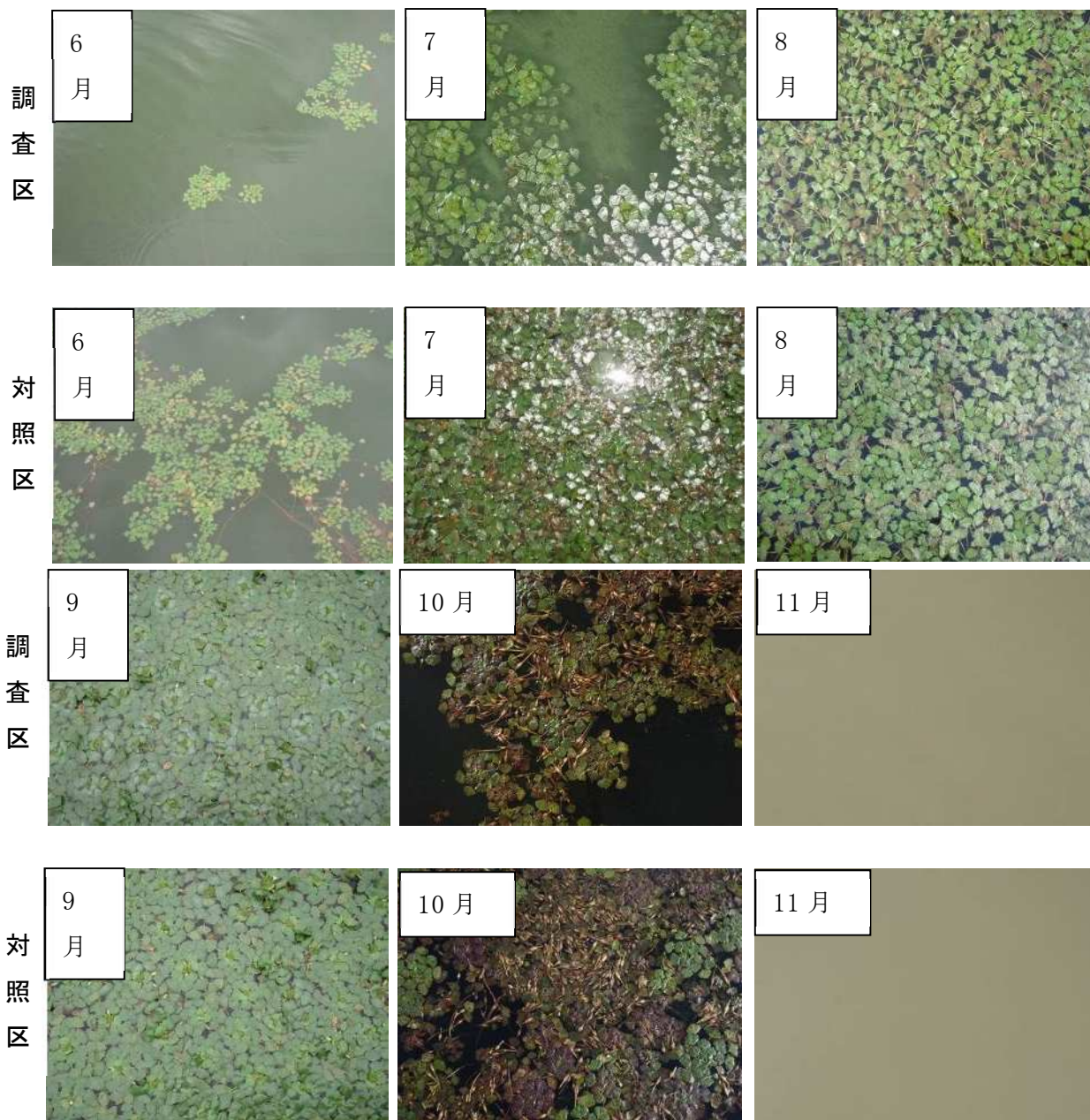


図 1-69 調査区と対照区のヒシ繁茂状況

iii)ヒシ種子埋土調査

高浜区の調査区（50m×50m）において、ヒシ種子除去前と除去後（5月、11月）に埋土ヒシ種子を採取し、ヒシ繁茂状況と種子密度について検証した。春季と秋季の種子の採取数を表 1-48 及び表 1-49 に示した。

春季に最も多く種子が採取されたのは⑮H28 春季調査区の種子除去前で 65 個/m²であり、最も種子の採取数が少なかったのは同区の種子除去後で 30 個/m²であった。また、発芽したヒシ種子数は⑮除去前が 53 個/m²に対し、⑮除去後が 17 個/m²であった。

秋季には、調査区、対照区とも春季のヒシ種子除去前の約 1.5 倍のヒシ種子総数となっており、新たなヒシ種子の落実によるものと思われる。

レーキによる早期のヒシ種子除去（補足調査参照）により、調査区内のヒシ種子を徹底除去した翌日でも除去前の約 3 分 1 の発芽ヒシ種子が埋土しており、これらが調査区内で成長し、対照区と変わらない密度まで繁茂したものである。ヒシの繁茂を抑制させるためには、早期のヒシ種子除去後の除去区の管理など、さらに効果的な抑制手法の検討が必要である。

表 1-48 春季のヒシ種子採取数

調査区	採取回数	採取面積	発芽	未発芽	種子総数	種子密度
	回	m ²	個	個	個	個/m ²
⑮H28春季調査区（除去前）	10	1.02	54	12	66	64.87
⑮H28春季調査区（除去後）	10	1.02	18	13	31	30.47
⑯H28春季対照区	10	1.02	45	17	62	60.94

表 1-49 秋季のヒシ種子採取数

調査区	採取回数	採取面積	種子総数	種子密度
	回	m ²	個	個/m ²
⑮H28春季調査区	10	1.02	104	102.23
⑯H28春季対照区	10	1.02	98	96.33

iv) ヒシ種子の埋没深度の推定

採取した種子のうち発芽していたヒシは種子から第1節までの長さを計測し、平成27年度事業で得られた以下の回帰式から種子の埋没深度を推定した。

$$y = 0.6436x + 5.5071 \quad r = 0.9515$$

x: 埋没深度 (cm) y: 種子から第1節までの長さ (cm)

種子の推定埋没深度はヒシ種子除去前で 9.4 ± 6.5 cm、除去後で 6.3 ± 5.0 cm であった。(図 1-70) レーキでの発芽初期のヒシ種子除去作業により、深い深度にある種子も除去可能であると思われる。

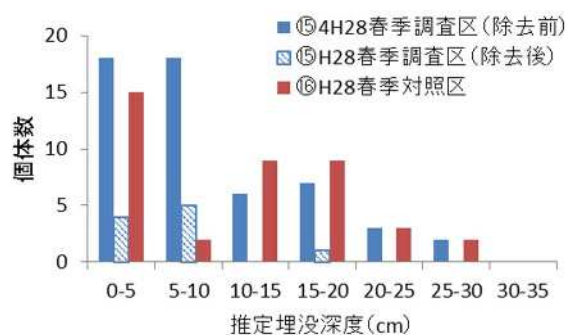


図 1-70 採取したヒシ種子の埋没深度

c) 沖合で発生する貧酸素水塊に関する調査

i) 湖心における DO 連続測定

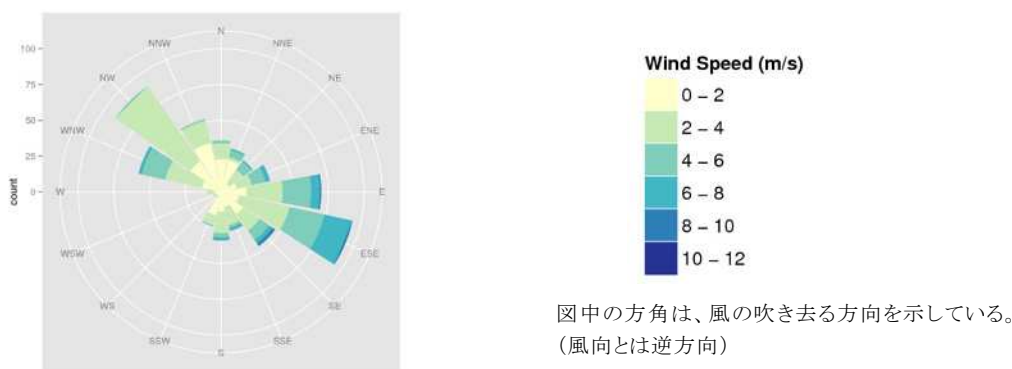
6月～10月にかけてのアメダス諏訪観測所の風況と湖心のDOの関係について調査した。アメダス諏訪観測所の位置を図1-71に示す。湖心のDOは、信州大学から提供を受けたDO連続観測結果を用いた。



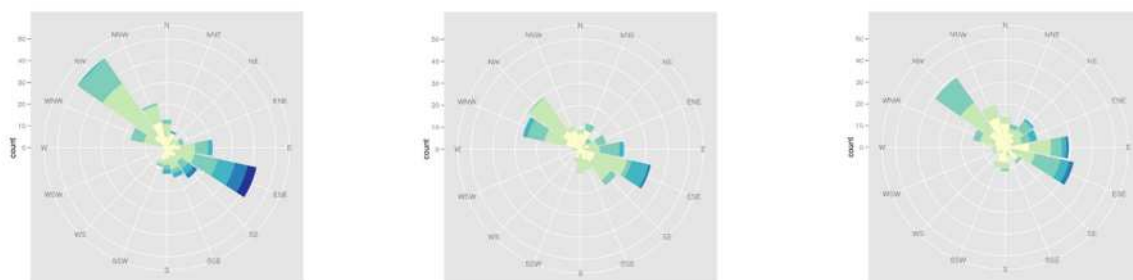
図 1-71 諏訪湖とアメダス諏訪観測所の位置

6月の風向別風速発生頻度分布を図1-72に、6月のアメダス諏訪観測所における降雨・風況、及びDO等連続観測結果を図1-73にそれぞれ示す。6月の風況と湖心の溶存酸素について以下のような特徴が見られた。

- 6月の主な卓越風は、西北西風、次いで南東風となっている。
- 風速6m/s以上の風が吹いている時の風向は、西北西であることが最も多い。
- 水深5.0mでDOが4.0mg/L以下となっている時の風速は6m/s以下であった。



6月



6月上旬(6月1日～10日)

6月中旬(6月11日～20日)

6月下旬(6月21日～30日)

図 1-72 風向別風速発生頻度分布(6月)

2016年6月

アメダス諏訪観測所

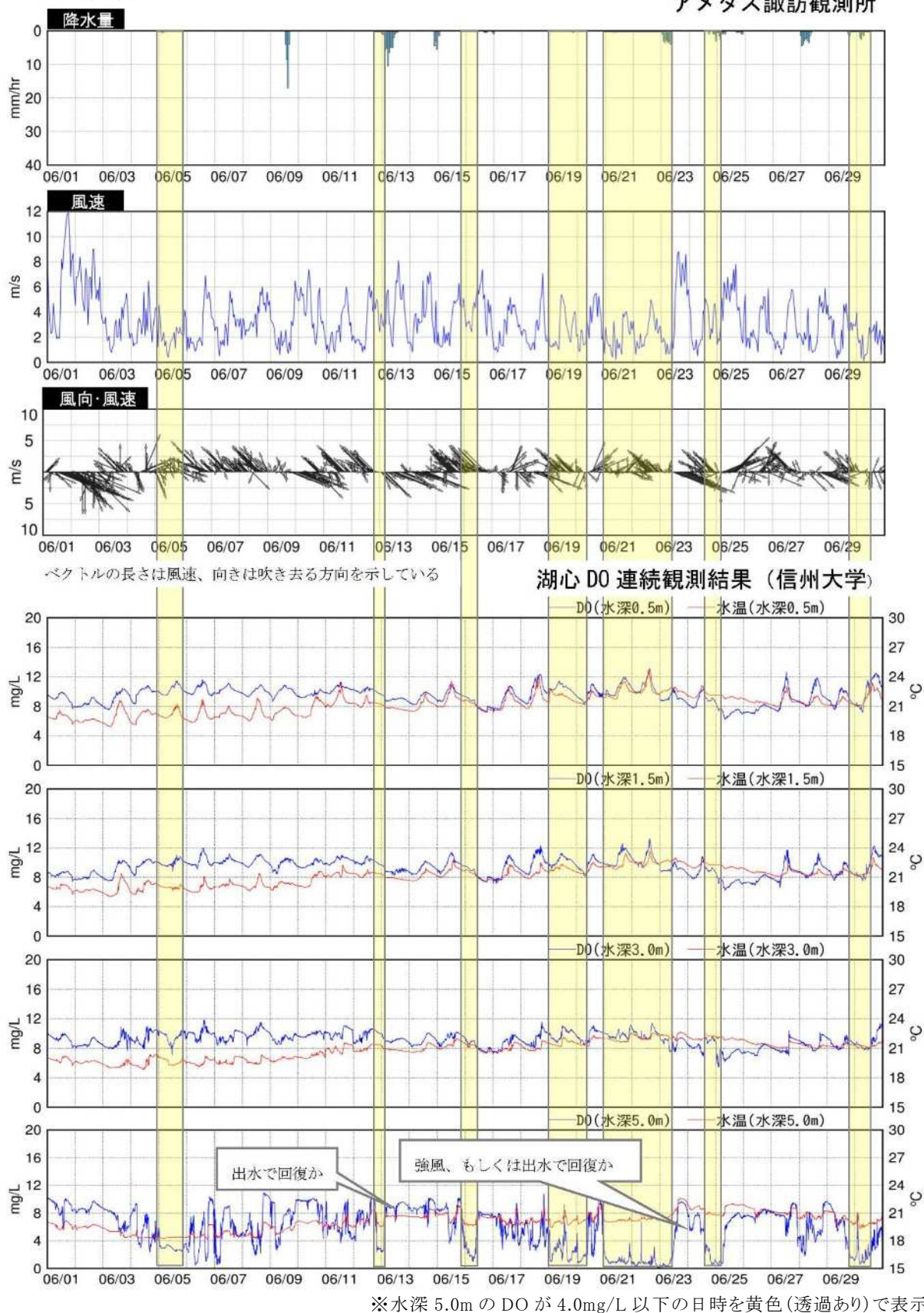
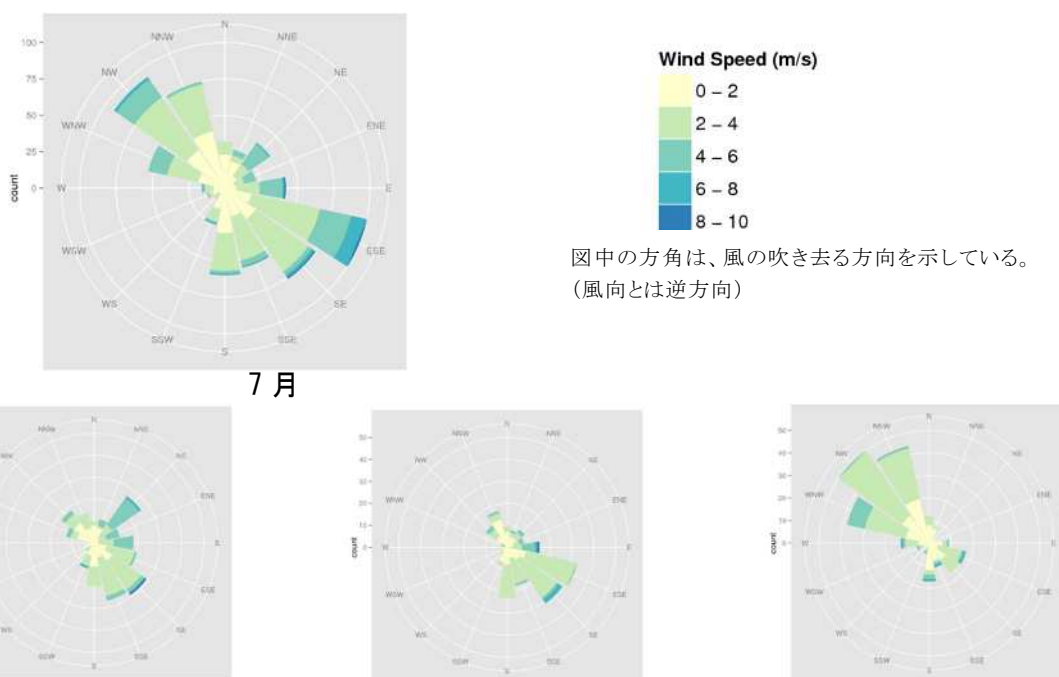


図 1-73 アメダス諏訪観測所の降雨・風況、湖心の DO 連続観測結果 (2016 年 6 月)

7月の風向別風速発生頻度分布を図 1-74 に、7月のアメダス諏訪観測所における降雨・風況、及びD0等連続観測結果を図 1-75 にそれぞれ示す。7月の風況と湖心の溶存酸素について以下のような特徴が見られた。

- 7月の主な卓越風も、西北西風、次いで南東風となっている。
- 風速 6m/s 以上の風が吹いている時の風向は、西北西であることが最も多い。
- 7月は、6月よりも水深 5.0m で D0 が 4.0mg/L 以下となる期間が長い。
- 水深 5.0m で D0 の上昇が見られる時は、水温の上昇も同時に発生している。7月 11日、及び7月 18日～7月 22日においては、風速が相対的に高い時の直後に、D0 の上昇が見られ、上下層での混合が生じていると想定される。
- 7月 18日夜の北西の強風で湖底までの鉛直混合が起こり、その後成層が形成しにくく安定しない状態が継続した。7月 26日の6時頃に水深約 3m までの鉛直混合が始まり、日中に水温が上がらず、3m 以深への鉛直混合が徐々に進むとともに、植物プランクトンの減少で表層への酸素供給量が減ったことなどにより、湖全体の D0 が低下したことが7月 27日 5時頃の急激な D0 の低下につながったと想定される。
- 7月 21日～30日の風向別風速発生頻度からは、風速 6m/s 未満の東南東から南南東の風の頻度が相対的に大きくなっていった。貧酸素と風向きの関係については、現時点では不明確ではあるが同じ風向の風が数日間吹き続けたことも表層での D0 の低下に影響を及ぼした可能性がある。



図中の方角は、風の吹き去る方向を示している。
(風向とは逆方向)

7月上旬(7月1日～10日) 7月中旬(7月11日～20日) 7月下旬(7月21日～31日)

図 1-74 風向別風速発生頻度分布(7月)

2016年7月

アメダス諏訪観測所

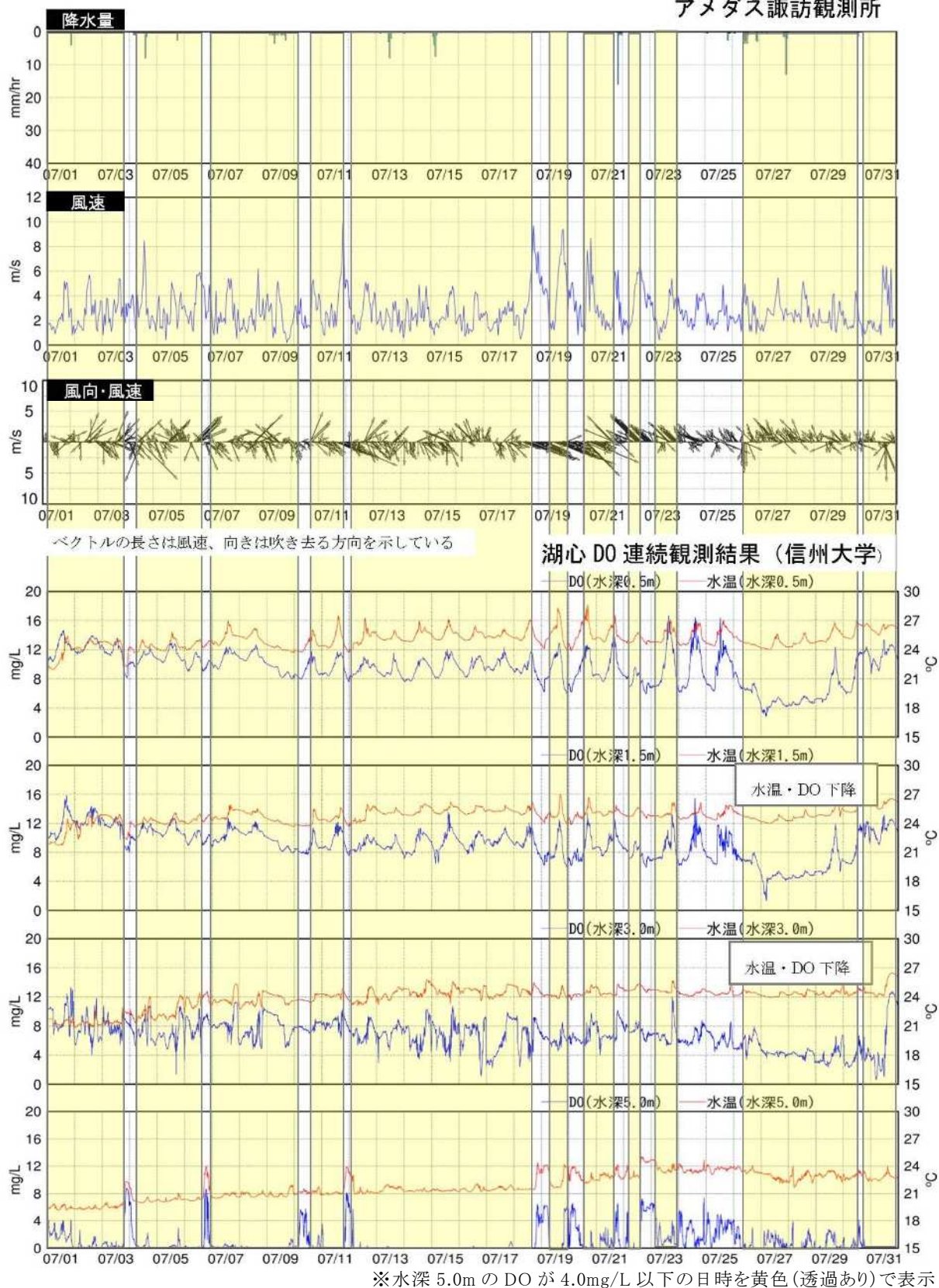
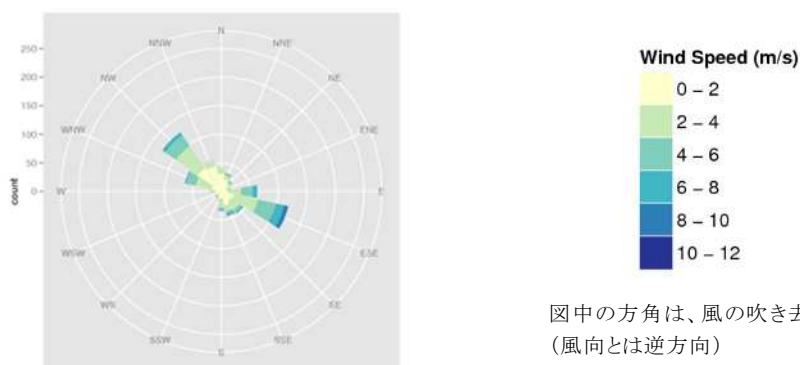


図 1-75 アメダス諏訪観測所の降雨・風況、湖心の DO 連続観測結果 (2016年7月)

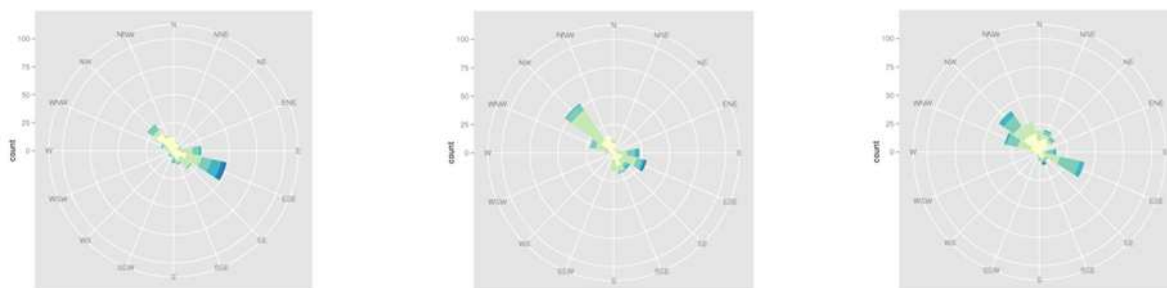
8月の風向別風速発生頻度分布を図 1-76 に、8月のアメダス諏訪観測所における降雨・風況、及びD0等連続観測結果を図 1-77 にそれぞれ示す。8月の風況と湖心の溶存酸素について以下のような特徴が見られた。

- 8月の主な卓越風は、南東風、次いで西北西風となっている。
- 風速 6m/s 以上の風が吹いている時の風向は、西北西であることが最も多い。
- 水深 5.0m で D0 の一時的な上昇が見られる時は、水温上昇も同時に発生している。8月 10 日～8月 11 日、及び 8月 17 日～8月 18 日においては、風速が相対的に高い時の直後に、D0 の上昇が見られる。上下層での混合が生じていると想定される。
- 7月 26 日～8月 16 日までは、水深 5.0m の D0 はほぼ継続して 4mg/L 未満であったが、8月 17 日以降は 4mg/L を超える時が度々発生した。この時、水深 0.5m の水温は 27℃を下回る期間が多く、水深 5.0m の水温は 24℃を上回っていたため、8月 16 日以前よりも水温成層が弱くなったと推察される。水深 0.5m～3.0m において D0 の顕著な変化は特に見られなかった。



図中の方角は、風の吹き去る方向を示している。
(風向とは逆方向)

8月

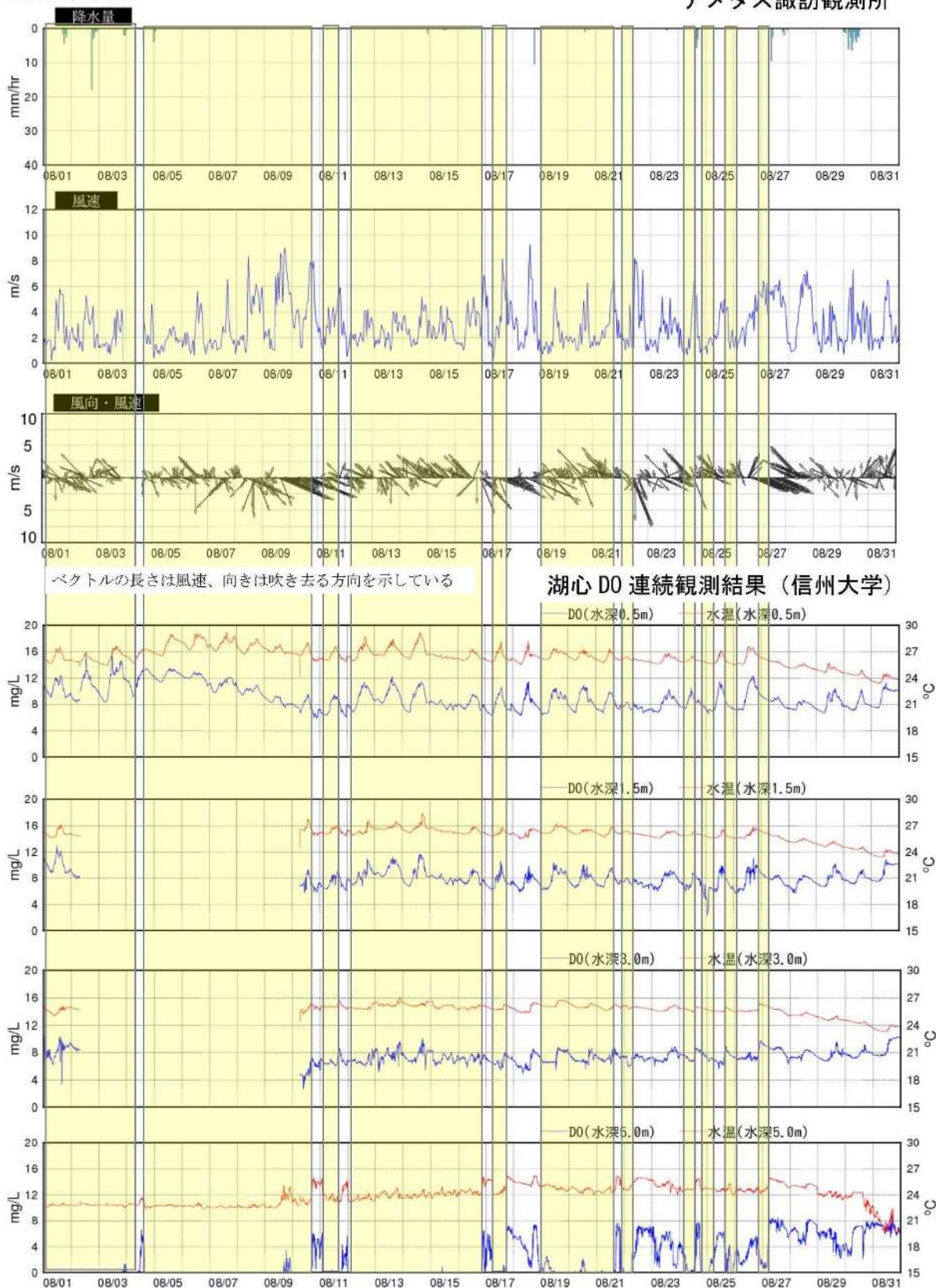


8月上旬(8月1日～10日) 8月中旬(8月11日～20日) 8月下旬(8月21日～31日)

図 1-76 風向別風速発生頻度分布(8月)

2016年8月

アメダス諏訪観測所

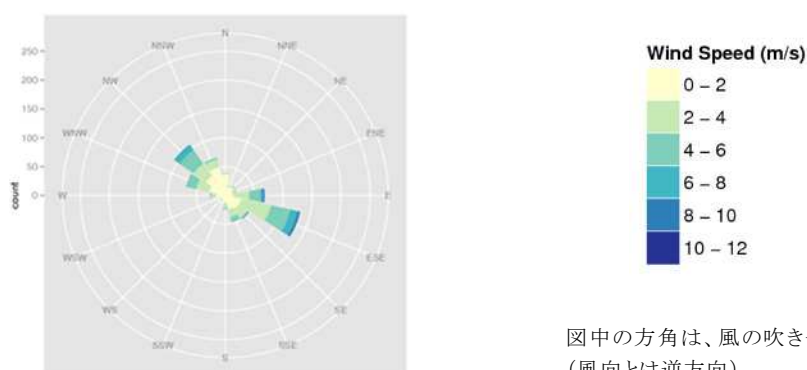


※水深 5.0m の DO が 4.0mg/L 以下の日時を黄色(透過あり)で表示

図 1-77 アメダス諏訪観測所の降雨・風況、湖心の DO 連続観測結果(2016年8月)

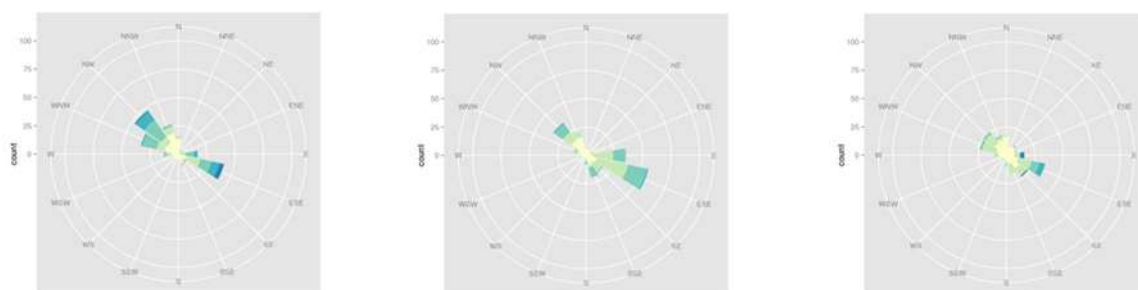
9月の風向別風速発生頻度分布を図 1-78 に、9月のアメダス諏訪観測所における降雨・風況、及びD0等連続観測結果を図 1-79 にそれぞれ示す。9月の風況と湖心の溶存酸素について以下のような特徴が見られた。

- 9月の主な卓越風は、西北西風、次いで南東風となっている。
- 風速 6m/s 以上の風が吹いている時の風向は、西北西であることが最も多い。
- 水深 5.0m において D0 が 4.0mg/L となる期間は、8月よりも著しく減少し、その時の風速はほとんどの期間で 6m/s 未満であった。



図中の方角は、風の吹き去る方向を示している。
(風向とは逆方向)

9月

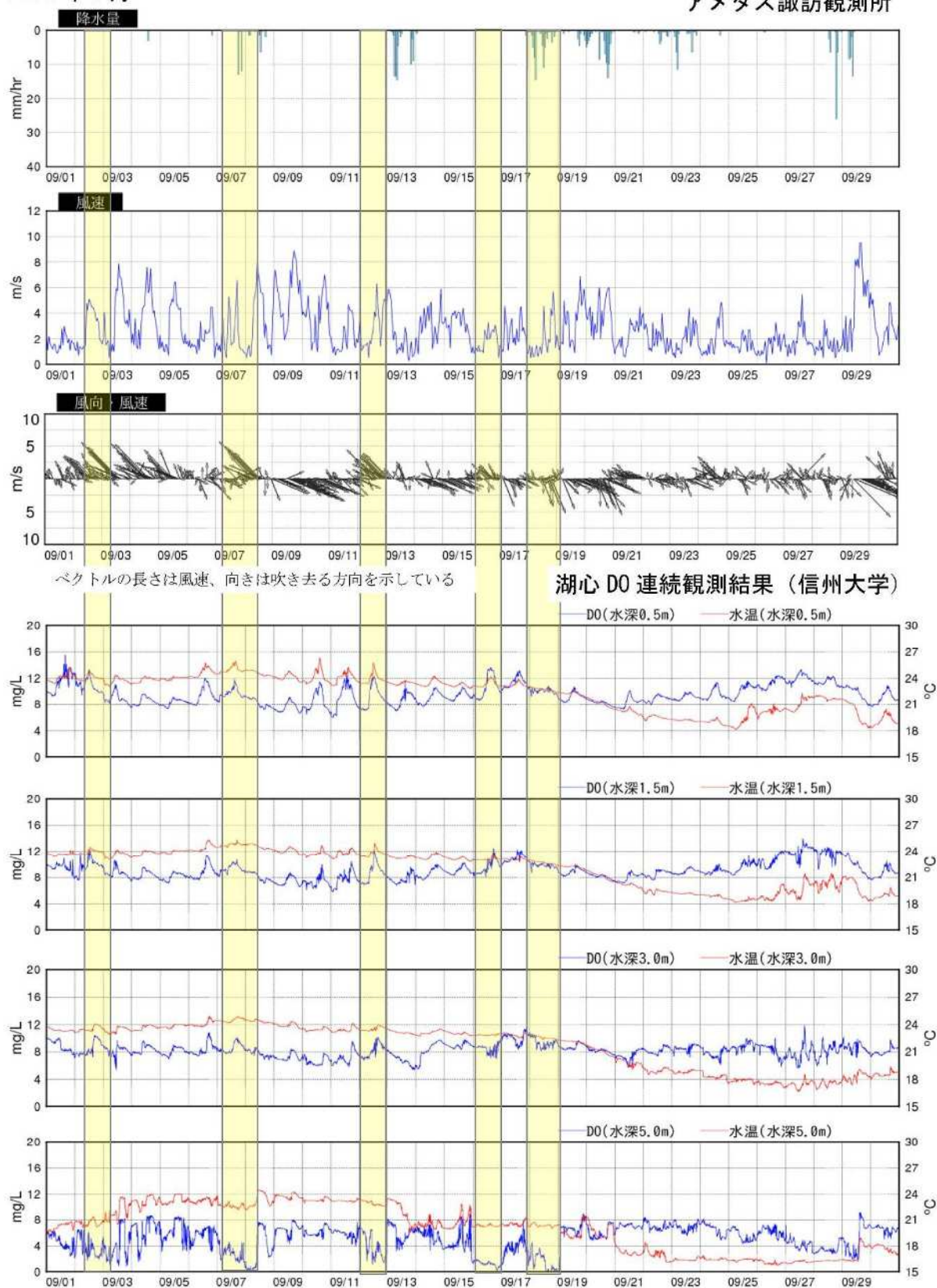


9月上旬(9月1日~10日) 9月中旬(9月11日~20日) 9月下旬(9月21日~30日)

図 1-78 風向別風速発生頻度分布(9月)

2016年9月

アメダス諏訪観測所

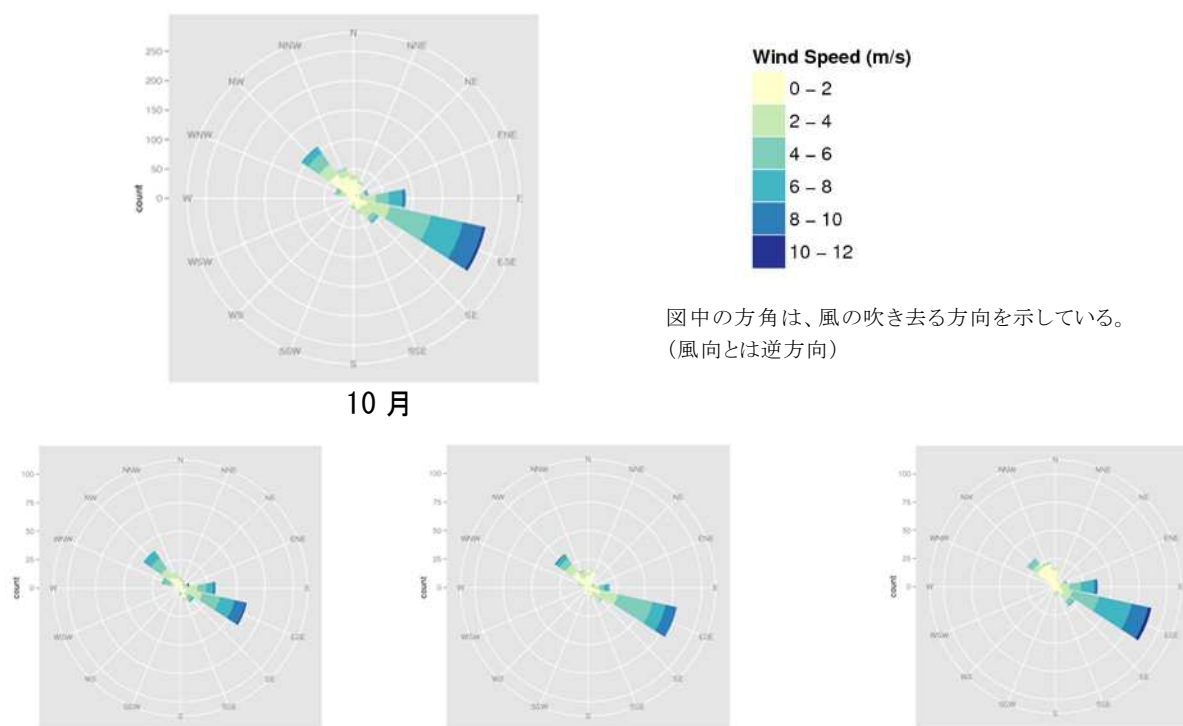


※水深 5.0m の DO が 4.0mg/L 以下の日時を黄色(透過あり)で表示

図 1-79 アメダス諏訪観測所の降雨・風況、湖心の DO 連続観測結果(2016年9月)

10月の風向別風速発生頻度分布を図1-80に、10月のアメダス諏訪観測所における降雨・風況、及びD0等連続観測結果を図1-81にそれぞれ示す。10月の風況と湖心の溶存酸素について以下のような特徴が見られた。

- 10月の主な卓越風は、西北西風、次いで南東風となっている。
- 風速6m/s以上の風が吹いている時の風向は、ほとんどが西、西北西、北西であった。
- 10月に水深5.0mにおいてD0が4.0mg/L未満であった時は、風速4m/s未満の風が1日～2日継続していた。



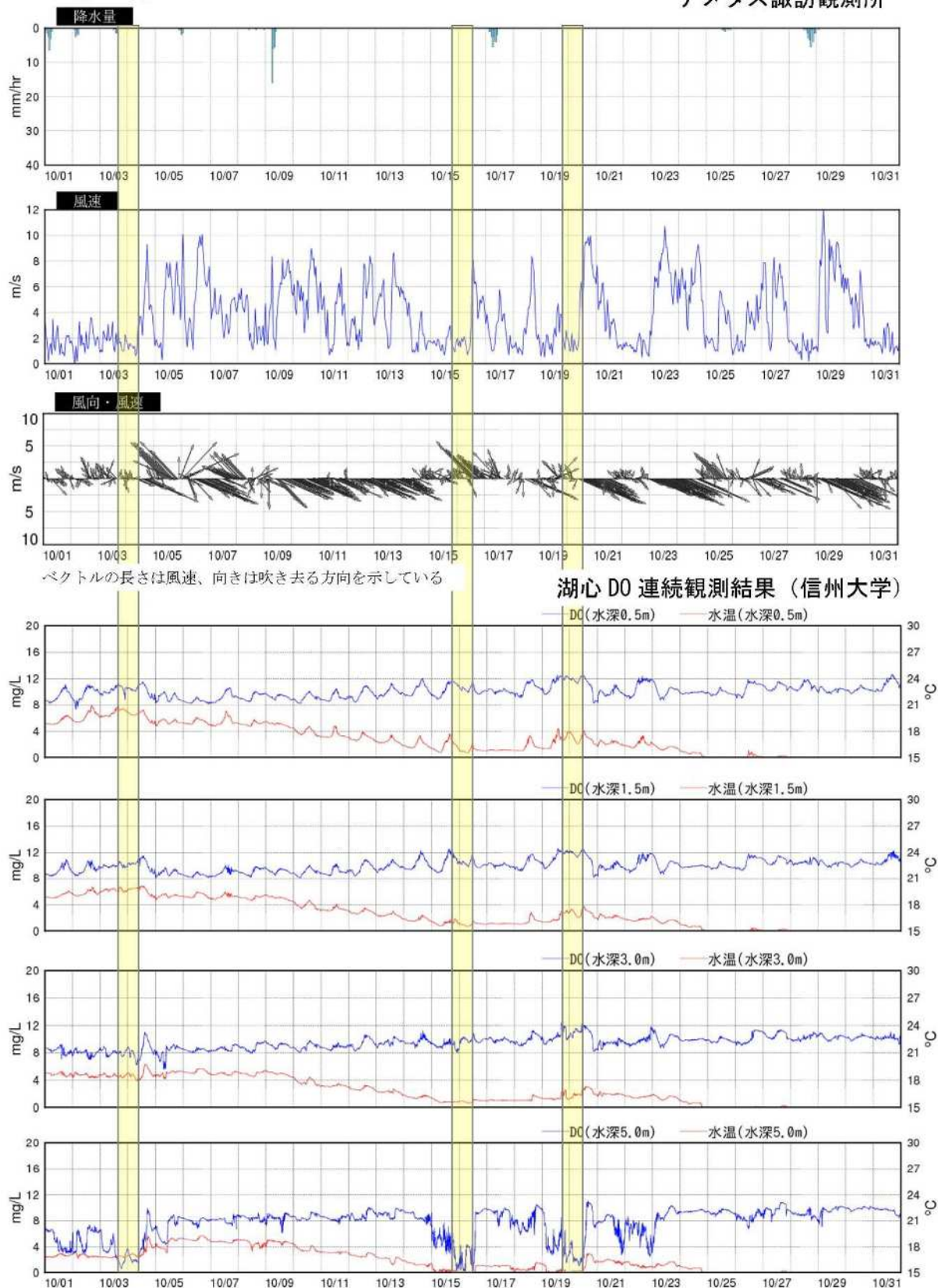
10月

10月上旬(10月1日～10日) 10月中旬(10月11日～20日) 10月下旬(10月21日～30日)

図1-80 風向別風速発生頻度分布(10月)

2016年10月

アメダス諏訪観測所



※水深 5.0m の DO が 4.0mg/L 以下の日時を黄色(透過あり)で表示

図 1-81 アメダス諏訪観測所の降雨・風況、湖心の DO 連続観測結果(2016年10月)

ii) 沖合から沿岸域(調査区)におけるDO連続観測

覆砂した調査区の周辺及び沖合に DO 連続測定器を設置して、H28 年 8 月 9 日～12 月 15 日の間モニタリングを行った。そのうち、8 月～11 月の各地点の変動グラフを図 1-83 に示した。DO 連続測定器は湖底直上 20cm の位置に設置した。③及び⑬地点は、覆砂場所から沖合に向けて勾配が大きく変化する場所であるため、地形と DO の関係性を評価するため上層にも設置した。各調査地点と水深との関係を図 1-82 に示した。

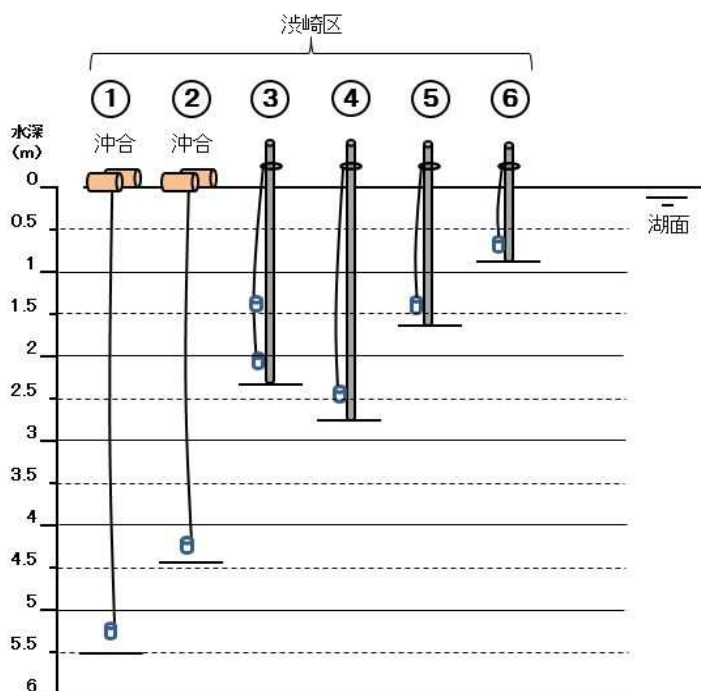


図 1-82 DO 連続測定器の設置水深の状況

沖地点①(湖岸線 700m 地点)では、測定開始から 8 月 9 日から 20 日を中心とする時期、9 月 2～4 日を中心に貧酸素状態(3mg/L 未満)の継続がみられた。沖地点②(湖岸線 350m 地点)では 8 月 12 日から 15 日を中心とする時期を中心に貧酸素状態の継続がみられたが、DO 低下の度合いは地点①に比べて小さかった。さらに地点③(湖岸線 100m 地点)では、貧酸素状態が継続する時期はほとんどみられなくなった。地点③と地点④(岸から 80m 地点)を比較すると、8 月中旬にかけて、地点④の方が DO 低下の度合いが大きい。これは、地点④の水深(約 2.7m)が沿岸域としては深いことに関係していると思われる。また、9 月 27 日から 28 日を中心にして沖合からの貧酸素水塊の影響によるものと思われる DO 低下が地点①～地点④で確認されているが、覆砂場所沖の地点⑤ではこの影響がみられなかった。これは、覆砂による湖流改善により貧酸素水塊が沿岸域に及ぼす影響を小さくした可能性が考えられるが、その効果が沿岸域の水深に起因したものは今回の調査では不明である。

また、貧酸素水塊の動きを確認するために覆砂ヤード沖において複数深度で DO 連続測定をしたが、今回の調査では挙動を捉えることができなかった。

なお、H28年度に覆砂規模を拡大して造成した湖岸通り区は、工事の竣工が大幅に遅れたため（11月末竣工）、覆砂による沿岸域の湖流改善が貧酸素水塊の解消にどの程度寄与しているのかを検証をすることができなかった。

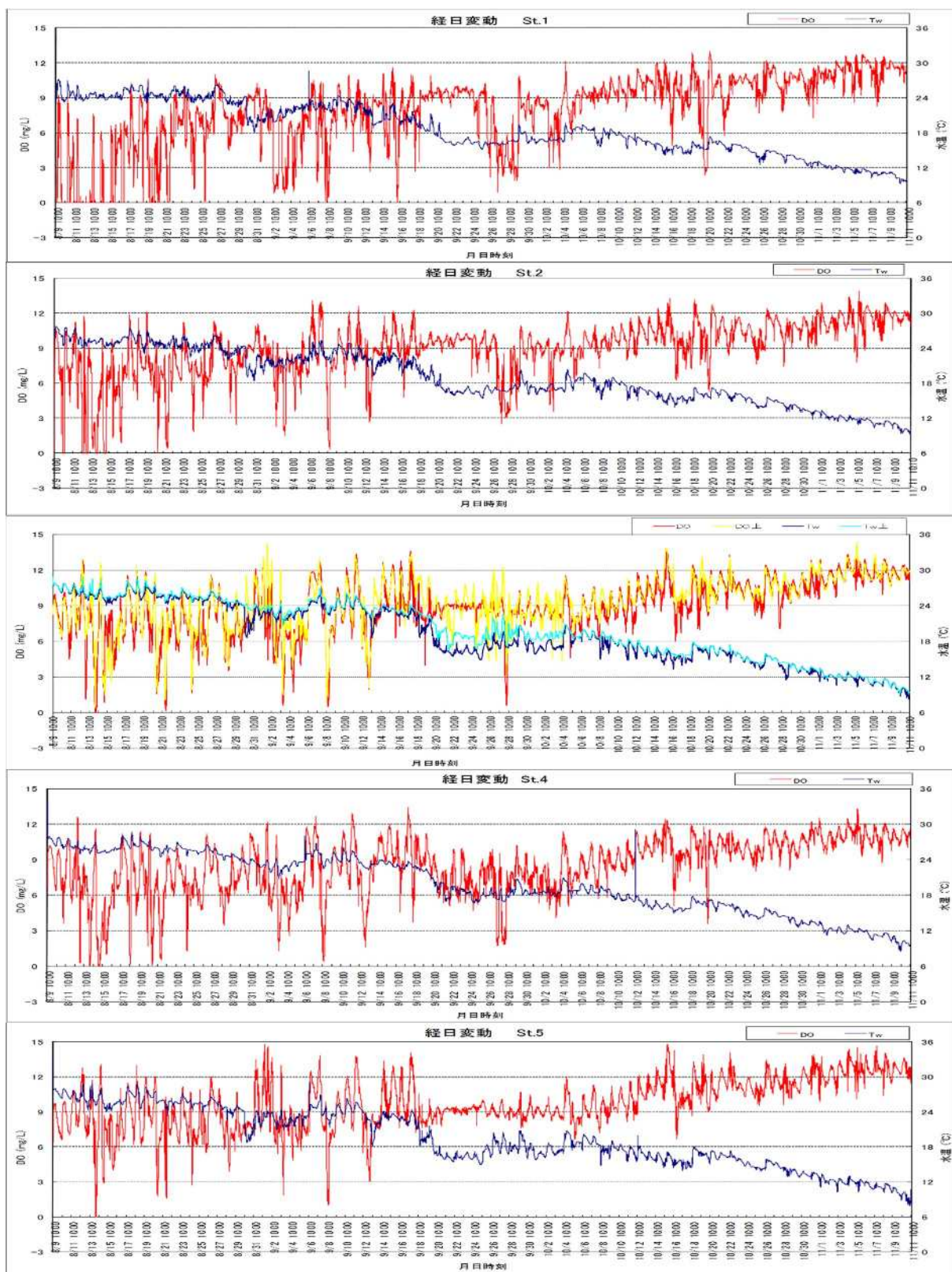


図 1-83 各調査地点における DO 連続測定結果

iii)DO補足調査

H27年度とH28年度のDO、水温、pHの経月変化を図1-84に示した。諏訪湖は例年6月～9月に表層と底層の間に成層が形成されることで底層が貧酸素状態となるが、降水量、風速、気温等の気象条件により表層と底層の垂直混合が起るとH27年度の7月のように一時的に貧酸素状態が解消される。H28年度は7月から9月において、表層と底層の間の水温差により貧酸素状態が発生しているとともに、表層の植物プランクトンの活発な光合成によりpHの差が生じている。

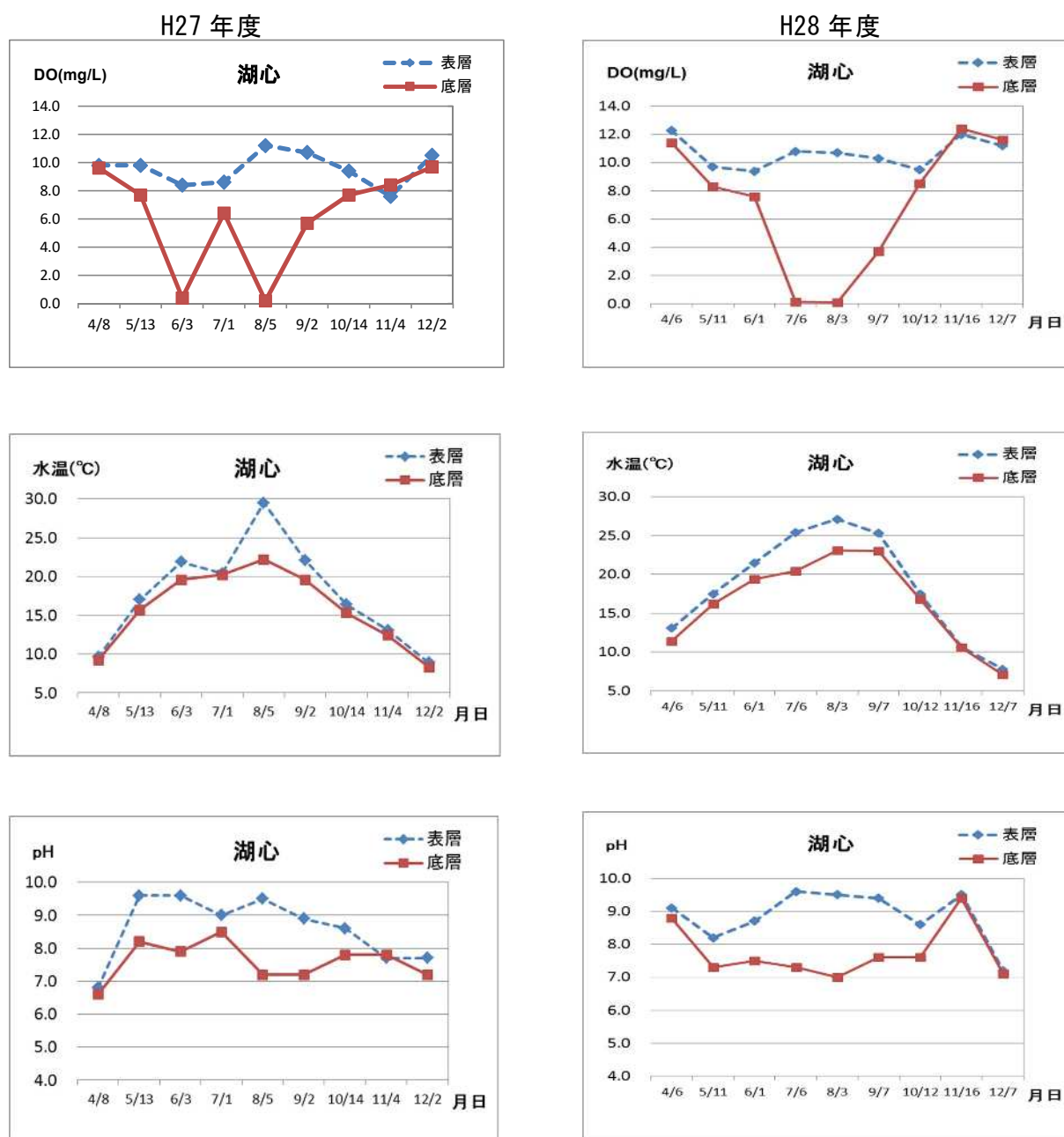


図 1-84 諏訪湖湖心のDO、水温、pH(左:平成27年度、右:平成28年度)

(3) 補足調査

a) 定着シジミの生息状況調査

i) 目的

8月の直播によるモニタリング調査で、調査用の枠内から放流したヤマトシジミとは明らかに異なるシジミが採捕されたため、生息状況を調査した。



直播区画内で確認された淡水シジミ

ii) 調査方法

調査日：平成28年8月31日、10月7日、11月18日

調査地点：H27 造成試験ヤード 直播試験実施地点

採取方法：直播試験を実施した区画内の表層から深さ約10cmまでの砂を、目合い3mmの網でふるい貝類を採取した。

測定項目：個体重、殻長

iii) 結果

1区画当たり2～5個体の小型のシジミが採取された。貝殻の特徴から、セタシジミまたはタイワンシジミ黄色型のいずれかと思われるが、判別が困難なサイズであるため、以下「淡水シジミ」とする。

8月に採取された淡水シジミの個体重は、0.3g～1.24gであったが、10月以降、0.2g以下の小型の個体が採取された。

11月の個体重の組成は、0.2g以下と0.6～1.2gの二峰型であり、少なくとも2つの年級群が存在すると考えられる。

大型の群は、試験ヤード造成時に砂と一緒に搬入された可能性も否定できないが、平成28年に砂の搬入をしていないため、0.2g以下の小型の群は試験ヤード内あるいは周辺で繁殖した幼生が定着したものと考えられる。

これらの結果から、現在の諏訪湖において、覆砂することにより、流入河川等からシジミが自然に定着し、生息できる環境が確保できることが裏付けられた。

なお、淡水シジミは小型であるため同定できなかったが、今後もモニタリングを継続する。

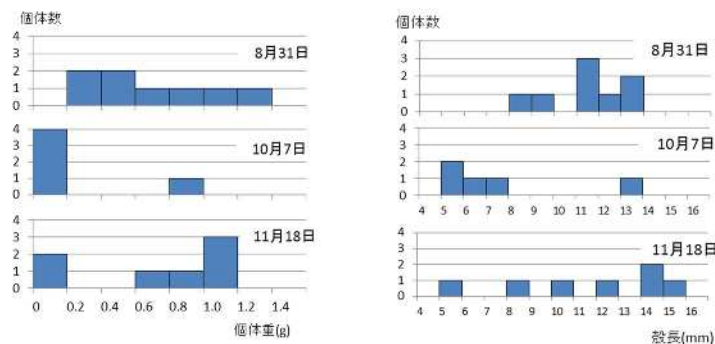


図 1-85 淡水シジミの個体重及び殻長の頻度分布

b) ヒシ除去方法検討調査

i) 目的

沿岸域の貧酸素の原因として考えられるヒシ帯を抑制させるために種子の除去を行うことと効率的な除去方法を検討することを目的とした。

ii) 調査方法

(i) 事前調査

調査区 (50m×50m) 内の発芽したヒシ種子の密度 (重量と個数の関係) を把握するため、事前調査を行った。

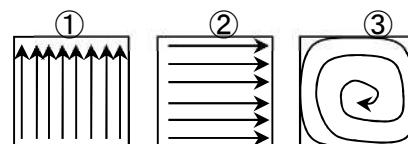
調査区及び対照区に隣接している場所において発芽したヒシ種子をレーキで 10kg を除去し、ヒシ草体重量の計量及びヒシ種子重量の計量並びにヒシ種子個数のカウントを行った。この作業を 3 回繰り返し行い、平均値を算出した。

(ii) 発芽種子除去調査

調査区内において、ロープでつないだ 1.8m 幅のレーキに発芽したヒシ種子を草体ごと引っ掛けて回収した。

作業船による作業回数は計 64 回。内訳は以下のとおり。

レーキの除去方向	レーキ除去内訳	レーキ除去回数
①沖から岸へ	4 隻 × 8 回	32 回
②湖岸と平行に	4 隻 × 3 回	12 回
③外側から渦巻き状に	4 隻 × 5 回	20 回
	計	64 回



iii) 調査結果

(i) 事前調査

除去した発芽ヒシ種子の湿重量に対して、ヒシ種子の重量は約 2 割であった。また、発芽ヒシ種子 10kg (湿重量) に対して、ヒシ種子個数は約 1,000 個であり、ヒシ種子 1 個あたりの重量は約 2g であった。(E=C/D)

表 1-50 事前調査結果(g)

	発芽ヒシ種子重量(A)	ヒシ草体重量(B)	ヒシ種子重量(C)	ヒシ種子個数(D)	ヒシ種子平均重量(E)
1回目	10,000	7,000	2,060	975	2.1
2回目	10,000	6,700	2,000	1,010	2.0
3回目	10,000	7,600	2,000	971	2.1

※A=B+Cとならないのは、水分の蒸発による。

(ii)発芽種子除去調査

64回の作業により除去したヒシ全体湿重量は913.5kgであり、調査区内のヒシ種子の推定個数は以下のとおり。

$$913.5\text{kg} \times (1,000 \text{個}/10\text{kg}) = 91,350 \text{個} \quad \text{種子密度} : 35.5 \text{個}/\text{m}^2$$

iv)考察

発芽後の早い時期であったため、ヒシの根がしっかりと底泥に張っておらず、殆どの作業において種子ごと回収することができた。

深部のヒシ種子除去を目的に試作した網付き改良レーキによる除去作業は、草体が網に絡みつき作業効率が悪くなった。発芽後のヒシ種子を除去するのであれば、網なしのレーキのみによる作業の方が効率的であることが分かった。

今回の調査で除去された種子は35.5個/m²であり、除去前後の種子密度から求めた除去数(64.87-30.47=34.4個/m²)とほぼ一致した。((ii)ヒシの適正管理 iii)ヒシ種子埋土調査)

作業後の2～3カ月は、調査区内はヒシが殆ど展葉しない状況であったが、8月以降、急速に展葉し、周辺と変わらない状況となった。

早期のヒシ種子除去効果を高めるためには、さらに広い面積の調査区を設定し、周辺からの影響が生じないようにする必要がある。

また、7月～8月に再度ヒシ種子の除去を行い、徹底して除去区を管理する必要がある。

ヒシは、種子から第一節の位置より根が発達し、下写真では右側ほど根が発達している。根が長くなる程、ヒシ種子の除去作業が難しくなる。今回の作業では、写真左側、中央の生育状況のヒシが多く除去された。



図 1-86 ヒシ種子からの根の発達状況



図 1-87 網なしレーキ(左)及び網つき改良レーキ(右)

3) 効果の評価と課題の整理

(1) 効果の評価

a) 覆砂やシジミの放流による底質改善

水質調査結果からは期間中には明確な覆砂効果が確認できなかった。覆砂ヤードの湖水の入れ替えが頻繁に行われたことが一因であることが考えられた。

底質調査結果からは覆砂により底質環境が改善され、1年以上経過してもなお、その状態が維持されていた。

生物モニタリングで生残率が昨年度に比べて低かったのは供試貝の状態が悪かったことが考えられる。

生簀調査において、生残率が対照区よりも覆砂区のほうが低かった原因の一つとして、波浪による砂の流出が考えられる。また、砂地、泥地を含めて成長に差がみられなかったのは、試験実施時期が10月30日から12月26日までの低水温期で、期間も約2カ月と短かったことが大きな要因と考えられる。

b) ヒシの適正管理

レーキによる発芽直後のヒシ種子除去作業による水質悪化は認められず、一定期間ヒシを抑制できたものの、除去しきれない種子の発芽等により、8月頃から急速にヒシが成長した。

ヒシ種子除去及びヒシ刈取船による除去によるコストを比較すると以下のとおりとなった。

	費用	労力	作業面積	費用／m ² ・人日
ヒシ種子除去	287千円	14人×1日	2,500 m ²	8.2円
刈取船による除去	31,760千円	1人×51日	341,000 m ²	1.8円

※刈り取ったヒシ(種子)の処分費は含まれていない。

c) 沖合で発生する貧酸素水塊の解消

覆砂により、沿岸域（渋崎区地点⑤）において貧酸素水塊の影響を小さくした可能性があるが、その効果が沿岸域の水深に起因したものは今回の調査では不明である。

貧酸素水塊の動きを確認するために覆砂ヤード沖において複数深度でDO連続測定をしたが、今回の調査では挙動を捉えることができなかった。

(2) 課題の整理

a) 覆砂やシジミの放流による底質改善

覆砂による水質改善効果を確認するためには、夏季の貧酸素化が顕著な時期において、今年度造成した覆砂ヤードで調査を継続する必要がある。

今年度造成した覆砂ヤードの環境改善効果は、実施時期、供試員のサイズ、放流方法を見直すとともに、供試員の健康状態を精査した上で、モニタリングする必要がある。

今年度、覆砂工事の着工が大幅に遅れたことを踏まえ、覆砂場所の選定においては、底質の状態、河川の影響、過去の底生生物の生育状況等の事前調査を十分実施するとともに、覆砂（工事）による諸影響も考慮の上、関係団体と十分協議する期間を設ける必要がある。

b) ヒシの適正管理

ヒシの抑制には、今回の除去方式に加えて、その後展葉したヒシの抜き取りを行うなどの定期管理が必要である。

また、8月以降の除去区でのヒシの急速な繁茂は、対照区のヒシによる影響も考えられるため、除去区の規模を拡大する必要もある。

c) 沖合で発生する貧酸素水塊の解消

覆砂による沿岸域での貧酸素水塊への影響を確認するためには、夏季の貧酸素化が顕著な時期において、今年度造成した覆砂ヤードで調査を継続する必要がある。

また、湖内全域での貧酸素水塊の挙動をとらえるため、湖心を中心に湖内複数地点で複数深度においてDO連続測定を実施する必要がある。

d) 検討委員からの指摘事項

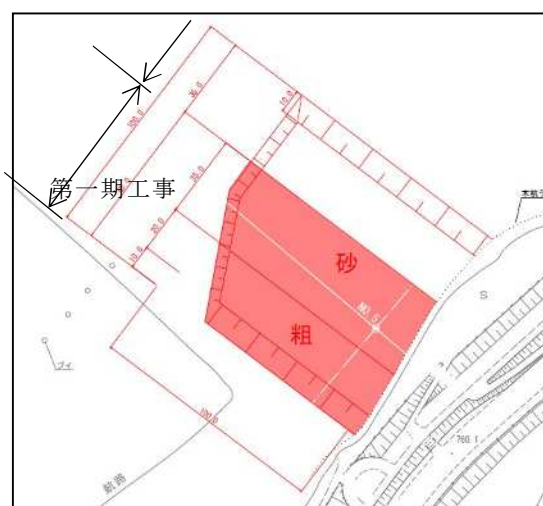
検討会委員からの指摘として、中間報告時には①琵琶湖でも水草が繁茂しているが、夏に条件が良ければどうやっても繁茂するので、諏訪湖でも単純な刈り取りの違いだけでは根本的な解決にならない可能性がある点、②種を取らなくても刈り取りや刈り取りとの併用の可能性もある点、湖心の貧酸素水塊の挙動が不明である点の指摘を受けた。

また、最終報告時には、①覆砂の効果を見るためにチャンバーで覆ったり、囲いなどで流れや移動を押さえたヤード内で酸素消費速度や栄養塩の溶出速度の測定を行う必要、②覆砂の効果を見るために覆砂域と対象域のコアをとって酸素消費速度や栄養塩溶出速度を測定する方法の推薦、③国内外来種のヤマトシジミを用いる事についての懸念、④底泥の採集方法として質を確認できる方法を検討すべきという示唆、⑤シジミ以外の底生動物調査が有益との示唆、との助言を受けた。

(3) 設置費用及び維持管理費用（参考）

a) 設置費用

- ・覆砂工費用 48,589,200 円 (8,270 円/㎡) (一般財源)
(第一期工事 5,875 ㎡)
- ・事業主体 長野県諏訪建設事務所
- ・工期 H28. 5. 27～H28. 12. 15
- ・覆砂量 5,830 ㎡
内訳・表層 1,180 ㎡ 上川河口の砂 (層厚 30cm)
・基層 2,490 ㎡ 取翻川、砥川上流の砂礫 (層厚 17～68cm)
・下層 2,180 ㎡ 砥川河口の砂 (層厚 20cm)
- ・工法 泥状掘削機による造成



砂の搬入



整地



搬入路の整備

図 1-88 工事の概要

b) 維持管理費用

維持管理費用なし。

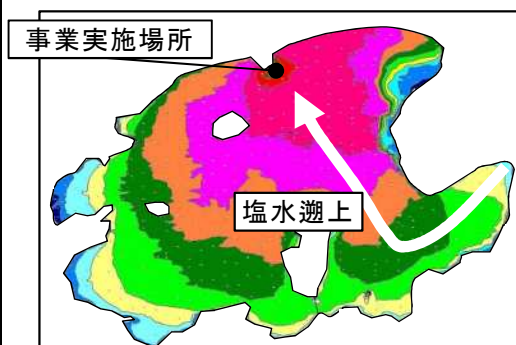
1.3 鳥取県湖山池（流動促進装置による上下水塊の攪拌）

1) 事業概要と期待される効果

(1) 事業概要

表 1-51 鳥取県湖山池のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	湖山池における流動促進装置による底層貧酸素化抑制の実証試験事業
事業の目的	湖山池で近年の汽水化による取組によって、池の最深部の塩分成層の発達が顕著で、貧酸素化の発達を助長している。貧酸素化の対策のひとつの方法として、上下水塊の攪拌による貧酸素化の抑制手法を確立したい。
対策の概要	流動促進装置を池の最深部に導入し、上下水塊の常時攪拌を行うことにより、初夏から秋にかけての塩分成層の破壊と貧酸素化の拡大抑制を図る。
対象年	平成 27 年度
事業実施前の湖沼の状況	湖山池では、COD、全窒素、全リンが高く、近年は上昇傾向にある。平成 24 年 3 月からの汽水化事業に伴って、それまで課題となっていたヒシ・アオコの発生抑制という一定の成果を得た一方で、魚類の大量斃死や赤潮発生という別の課題も顕在化してきた。また、底層部の塩分躍層の形成により、夏季に貧酸素化が起こりやすい状況となっており、目標範囲内での塩分管理手法の確立も課題となっている。
事業実施場所	<p>湖山池は、湖面積 6.81km²、流域面積 38.91km²、平均水深 2.8m、最大水深 6.5m、流域人口 22,000 人の湖沼で、時として海から塩水が遡上する汽水湖である。逆流遡上の際に比重の大きい塩水は、池の最深部に停滞し、塩分成層しやすい傾向となる。</p> <p>特に夏季においては、塩分成層の発達、上下層水塊の混合鈍化、底質の有機物分解等により顕著な貧酸素化となりやすい環境が形成され、拡大している。</p> <p>水深は、池の北側部が最深部で 6.5m 程度（池全体の平均水深は 2.8m）であり、塩水は矢印のとおり遡上して最深部に溜まる。北側部を底とする「すり鉢状」の地形である。</p>



(2) 対策の内容と期待される効果

a) 対策の内容

流動促進装置を池の最深部水深約 5.9mに導入し、上下水塊の常時攪拌を行うことにより、初夏から秋にかけての塩分成層の破壊と貧酸素化の拡大抑制を図る。

流動促進装置／ポンプ技術については、①表層部から取水し送水。ポンプ送水比の約 20 倍の水流発生が可能。②発生水流は「整流」で、吐出方向の調整によりヘドロの巻き上げ等を回避可能。③理論計算では平面方向 200m程度まで流速が到達する能力を持つ。④送水角度は仰角 10 度上向きにセット。

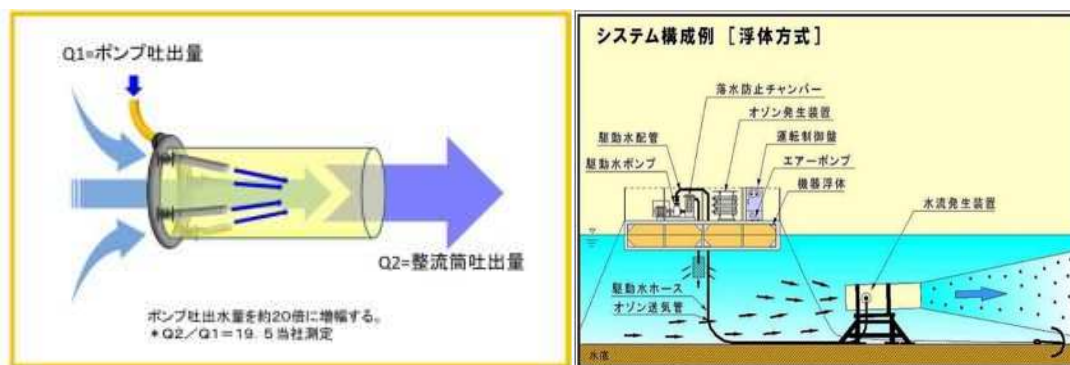


図 1-89 流動促進装置/ポンプ技術の概要

b) 期待される効果

湖山池の貧酸素化は、塩分成層形成に伴う底部水塊の停滞が起因するところが多い。流動促進装置による塩分躍層の破壊が底層貧酸素化の改善へ繋がると見込んでいる。

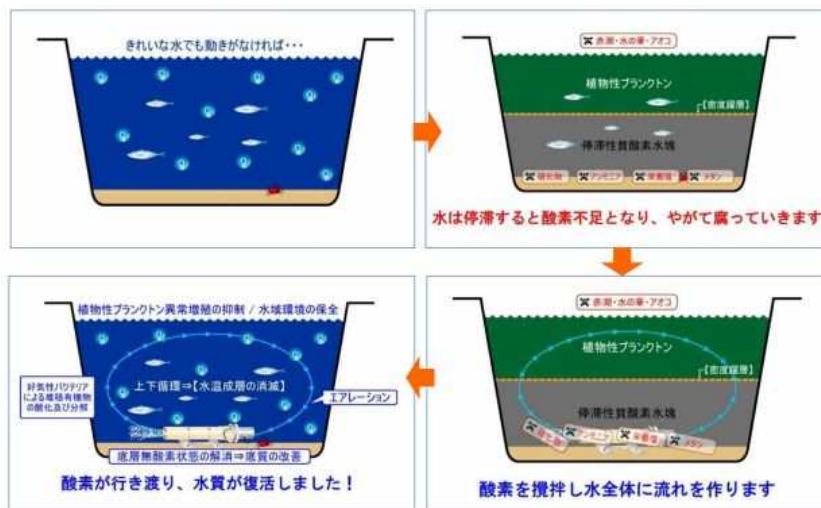


図 1-90 塩分躍層の破壊による底層貧酸素化解消のメカニズム

2) 効果を把握するための調査

(1) 調査計画

流動装置により短期発現する効果（塩分躍層の破壊、底層 DO の変化）をメインの測定対象とし、長期発現する効果（底質の環境改善、栄養塩溶出抑制）をサブの測定対象と位置付ける。

- ・装置稼働のスイッチ ON/OFF の切替えにより装置の有無の効果を比較する。
- ・本格運転中（7月～10月）に、調査間隔を考慮しながら、頻度良く調査を実施する。
- ・効果比較の検証のため、スイッチ OFF で一時的停止する以外は、原則、連続運転する。

- ・「調査実施イメージ」と「実際の調査定点図」

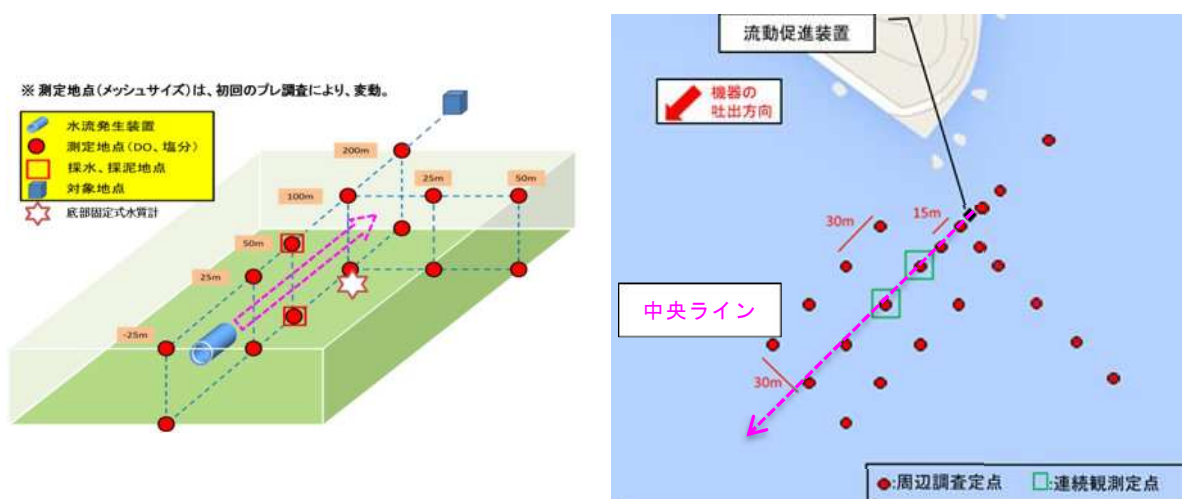


図 1-91 「調査実施イメージ」と「実際の調査定点図」

7月下旬からの本格運転中に主に2種の水質調査を実施した。

- ・装置周辺のメッシュ調査

装置の稼働中・停止中における周辺の水質（主に塩分、溶存酸素）を適宜調査

→ 調査時の平面・鉛直（＝三次元的）の水質分布の把握。

- ・水底設置水質計による連続観測

装置から30、60m離れた地点に水質計を設置し、連続的に水質を調査

→ 湖底部の24時間の水質変化の追跡ができる。

・ 実際のデータ

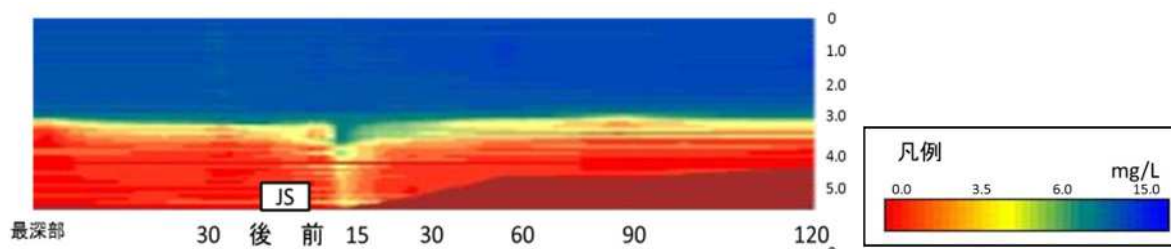


図 1-92 溶存酸素濃度の断面分布図(中央ライン)8/7 稼働 10 日後

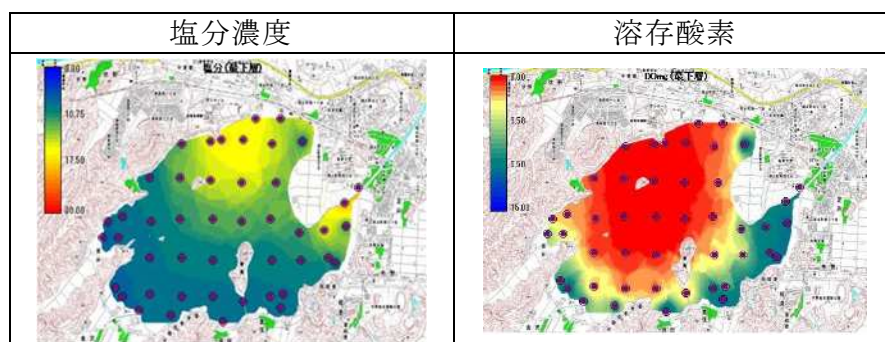


図 1-93 池全体の塩分・溶存酸素分布図(8/7 底層部)

(2) 主な調査結果と考察

a) 装置の稼働状況

(i)装置稼働中の状況

表 1-52 装置稼働中の状況

設置作業	6月～7月（機器設置・試運転など）
稼働前：7/27	非常に厚い塩分躍層（＝およそ3m以深）とそれと相関するような貧酸素水塊が発達。
稼働中：7/28～	以下の記述参照
特記すべき期間中の気象イベント	8/25 台風15号（強風） 9/06 強風・大雨 9/09 台風18号（強風・大雨） → 一時的に湖内が全混合状態になる。
調査終了	9/30 周辺集中調査は終了／装置は11月上旬まで継続運転

(ii)装置稼働中の現場の様子

当初、装置流動によるヘドロ巻き上げが懸念されたが、試運転時の一時的なものに限られ、本格運転の際は、確認されなかった。これは、ヘドロ巻き上げを抑制するために整流筒の設置角度を少し上向きにしたことによる効果と考えている。

一方、装置稼働中の湖上調査時に、時折、湖面で若干の硫化水素臭がする現象を確認した。これは、当時は水底部が超還元状態にあり、それに伴い発生した硫化水素が底層水塊に相当量存在していたこと、また硫化水素を含む水塊が流動装置により湖面へ押し上げられていたことを意味する。(8/28の調査までは顕著でその後沈静化、底層部の超貧酸素の時期と一致)

しかしながら、装置周辺において硫化水素による魚の斃死等の顕著な異常は確認されなかった。(検知管による簡易水質検査では1 ppm以下を示した。)

装置稼働中にドローンでの空撮写真を図 1-94 に示す。装置が発生させる気泡は表面に浮いて風に乗って左方向に流れてはいるが、流動は水底で発生し、直進している。

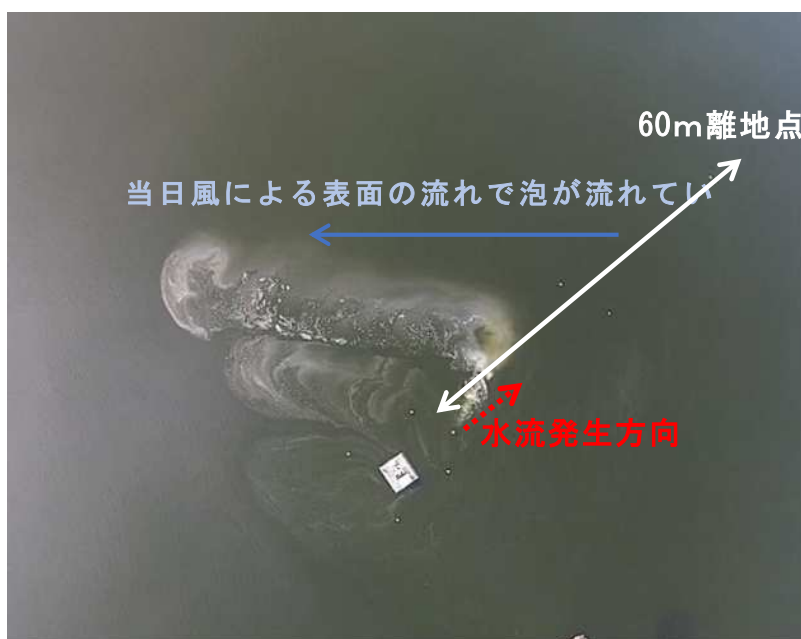


図 1-94 装置稼働中の空撮写真

(iii)装置による改善効果観察結果のまとめ

装置周辺のメッシュ調査、水底設置水質計による連続観測調査の結果より得られた事項を次のとおり整理した。主な水質調査結果データはb)～e)に掲載。

■ 底層溶存酸素改善の効果について

装置による溶存酸素改善効果は、限定的な範囲に留まった。→ 装置前方 15m程度では一時的な溶存酸素の上昇が認められたが、それ以上の離れた地点では確認できなかった。

(原因分析)

○理論上は、200m以上まで緩やかな流れが生じているのだが、底層の酸素消費に対して流動装置の水流による酸素供給が追いついていない。

→ 微生物による有機物分解により底層部の酸素はゼロ状態にあり、硫化水素が相当量発生するような超還元状態であったはずであるが、そのような状態にあるとせっかく供給した酸素が瞬く間に消費されてしまうため、明確な改善効果が得られなかった。

○装置稼働スタート時(7月下旬)には、既に強固な塩分躍層・貧酸素水塊が発生しており、当該流動装置の吐出能力では、破壊できない規模となっていたことも、明確な改善効果が得られなかった要因のひとつと考えている。

■ 底層の塩分躍層の破壊の効果について

塩分躍層を短期間に完全破壊されるような効果までは確認できなかった。一方、断定はできないが、装置稼働中に塩分躍層が弱まる状況を確認できた。

○特に目立った強風が無い状況下で流動装置稼働中に塩分躍層の表層部・下層部の塩分差が減少していく状況を観測できた。(これが流動装置による攪拌作用かの判断は難しい。)

○稼働中の台風接近等(9/6~9)により、湖内塩分躍層が完全破壊される現象を確認している。その際は、同時に貧酸素水塊も解消されていることから、塩分躍層を減少、又は破壊することで、最深部の貧酸素水塊も軽減できる可能性が高い。

b) 底層溶存酸素のメッシュ調査結果

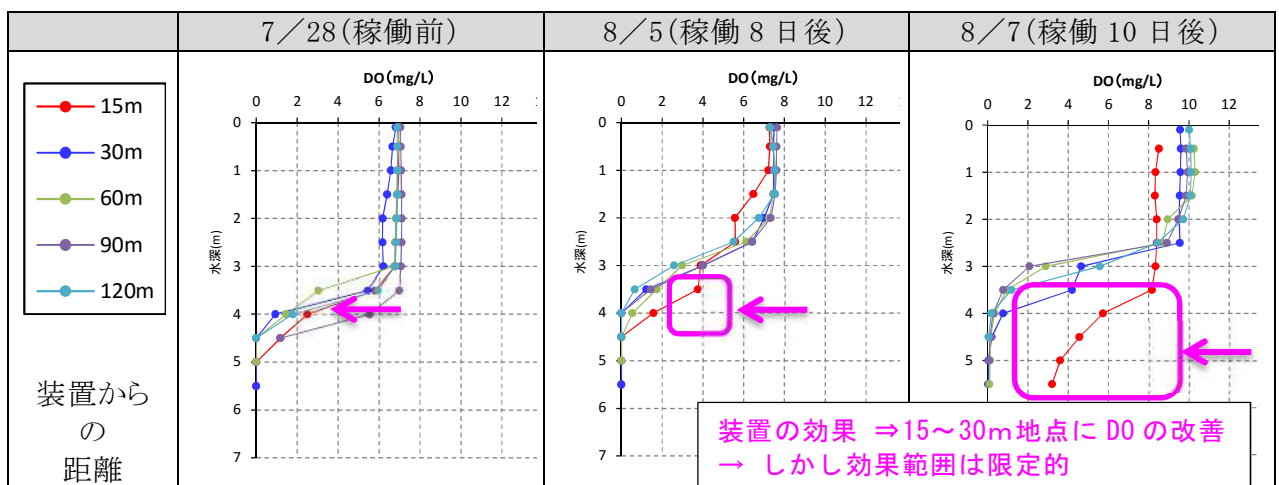
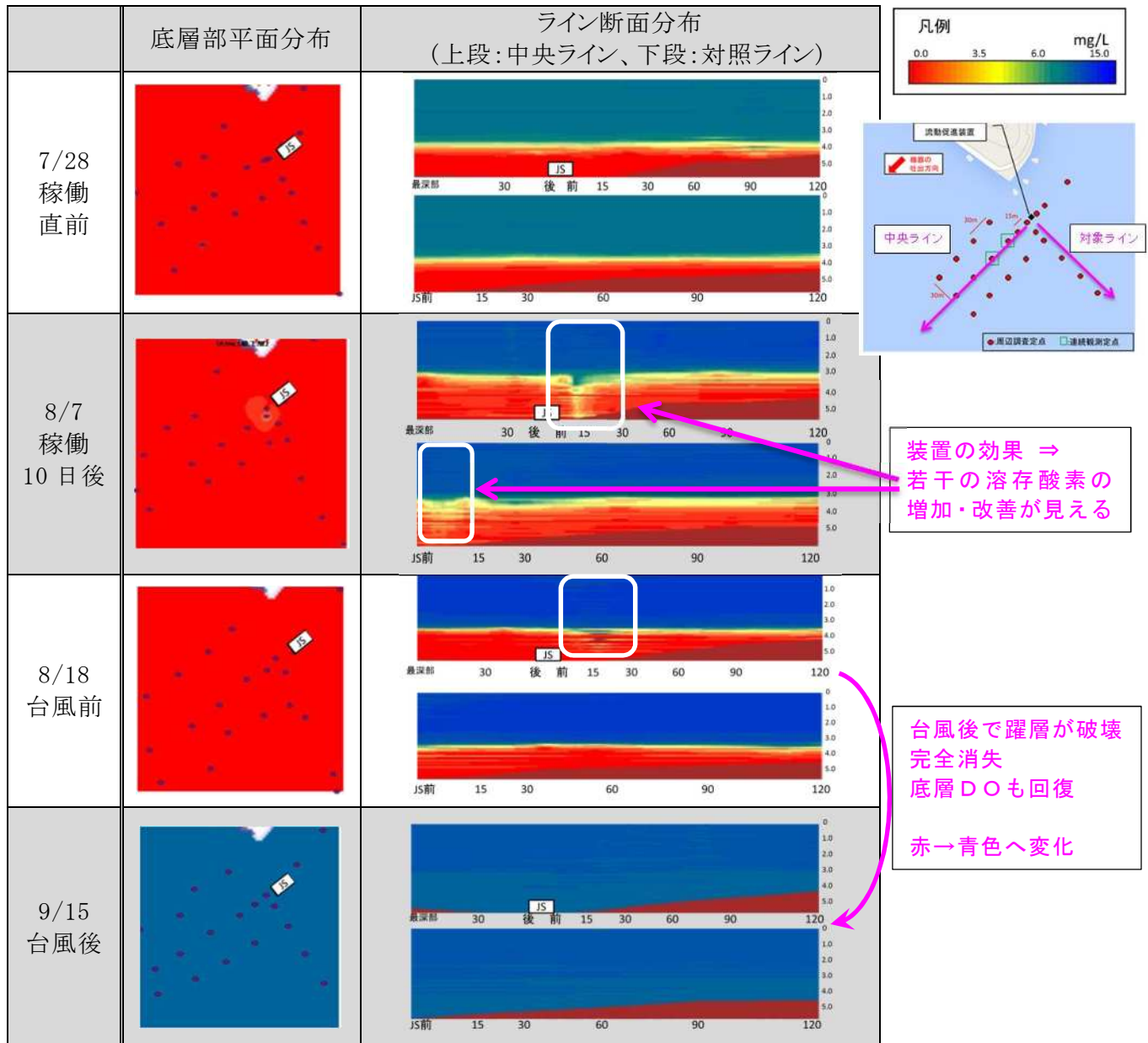
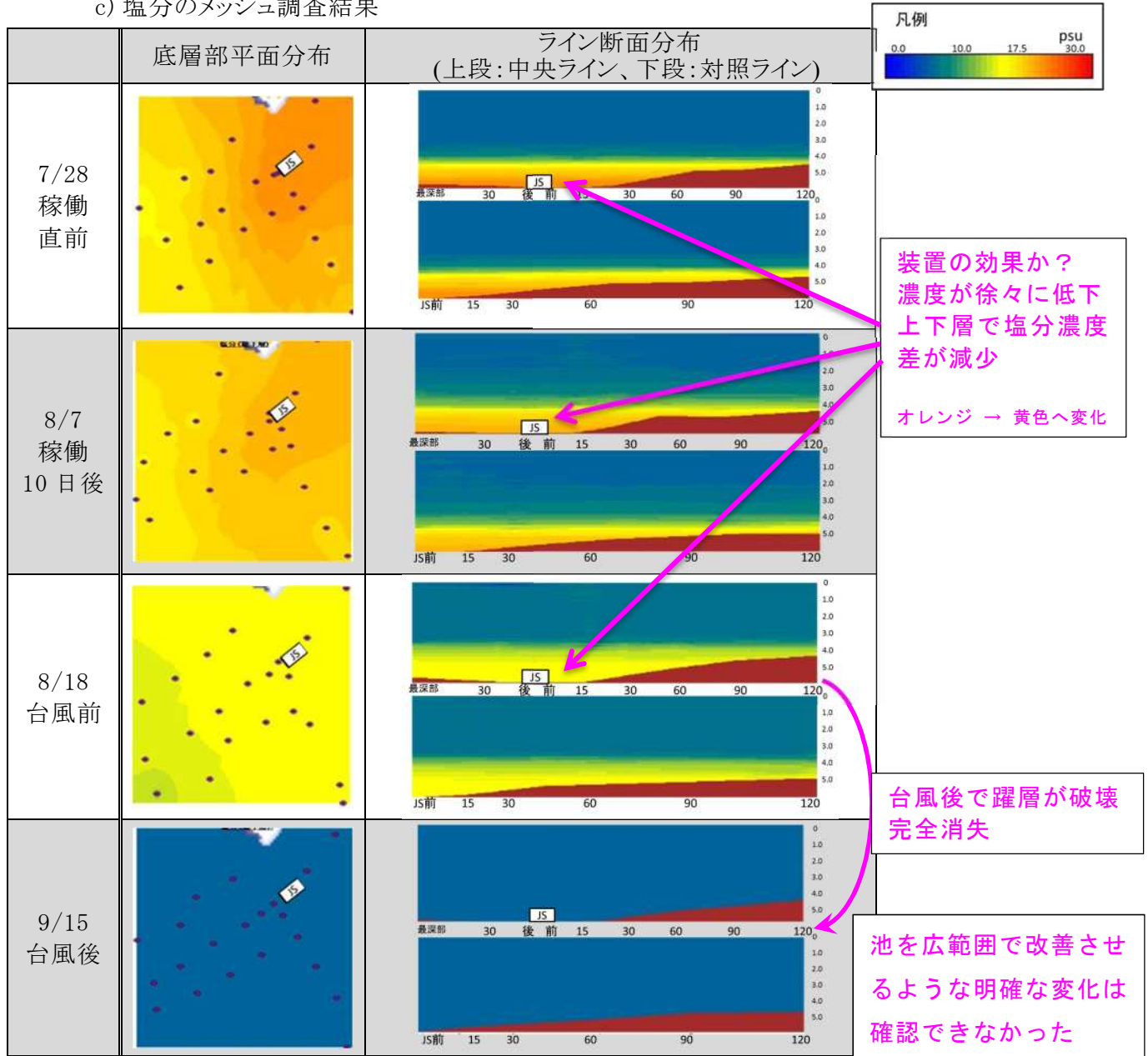
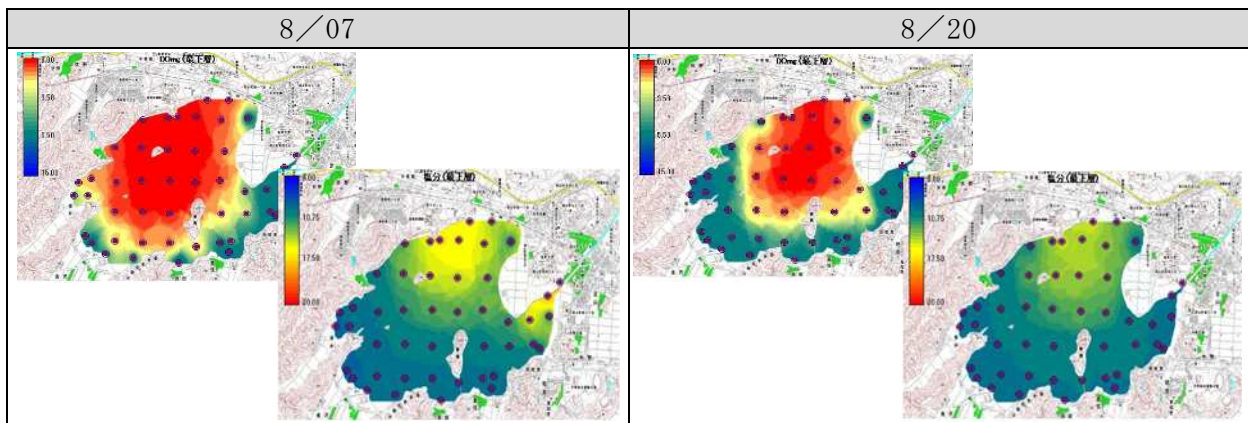


図 1-95 メッシュ調査結果/底層溶存酸素の平面・断面コンタ図と鉛直プロファイル

c) 塩分のメッシュ調査結果



(参考) 池全体の底層部水質平面分布 (左: 溶存酸素/右: 塩分)



塩分躍層と対応した貧酸素域が分布

図 1-96 メッシュ調査結果/塩分濃度の平面・断面コンタ図

d) 連続観測結果

30m、60m 地点での地点間の明瞭な差はなかった。塩分は試験開始後 (20psu) から徐々に低下し、8/05 に一時的な塩分上昇がみられ、その後は徐々に低下していった。8/25 の台風 15 号接近の時期に急激な塩分低下がみられた (約 15→9psu)。その後 12psu 前後を推移した。8/28 にも一時的な塩分上昇がみられ、その後徐々に低下していった。9/09 の台風 18 号接近後は約 8psu 前後まで低下し、以後約 8~12psu を推移した。

30m、60m 両地点ともに 8/24 まで底層の D0 は、ほぼ 0mg/L のままであった。台風接近以降は D0 の大幅な改善が認められた。

8/05 と 8/28 の急激な塩分の上昇が認められた。県が設置している池の河口部の水底固定式連続観測の記録によると、8/05~8/06 と 8/27~8/28 にかけて、長時間の海水の流入が確認されたことから、これらの塩分増加は海水流入に起因するものと考えられる。

試験期間中に表層と最下層の塩分差の減少が見られたが、流動装置の効果か判断が難しいところである。少なくとも 8/05~8/06 (機器稼働中) の海水流入時に塩分上昇が見られたことから、一定以上の海水流入があったときに塩分躍層の発達を防ぐことは難しいと考えられる。

台風 15 号 (8/25)、18 号 (9/06) 接近以降は D0 の大幅な改善が認められた。この改善効果は台風の攪拌作用によるものと考えられる。

台風の影響がでる前の 7/27~8/24 の期間では両地点で貧酸素の回復は見られず、流動促進装置の効果と思われる現象は確認できなかった。

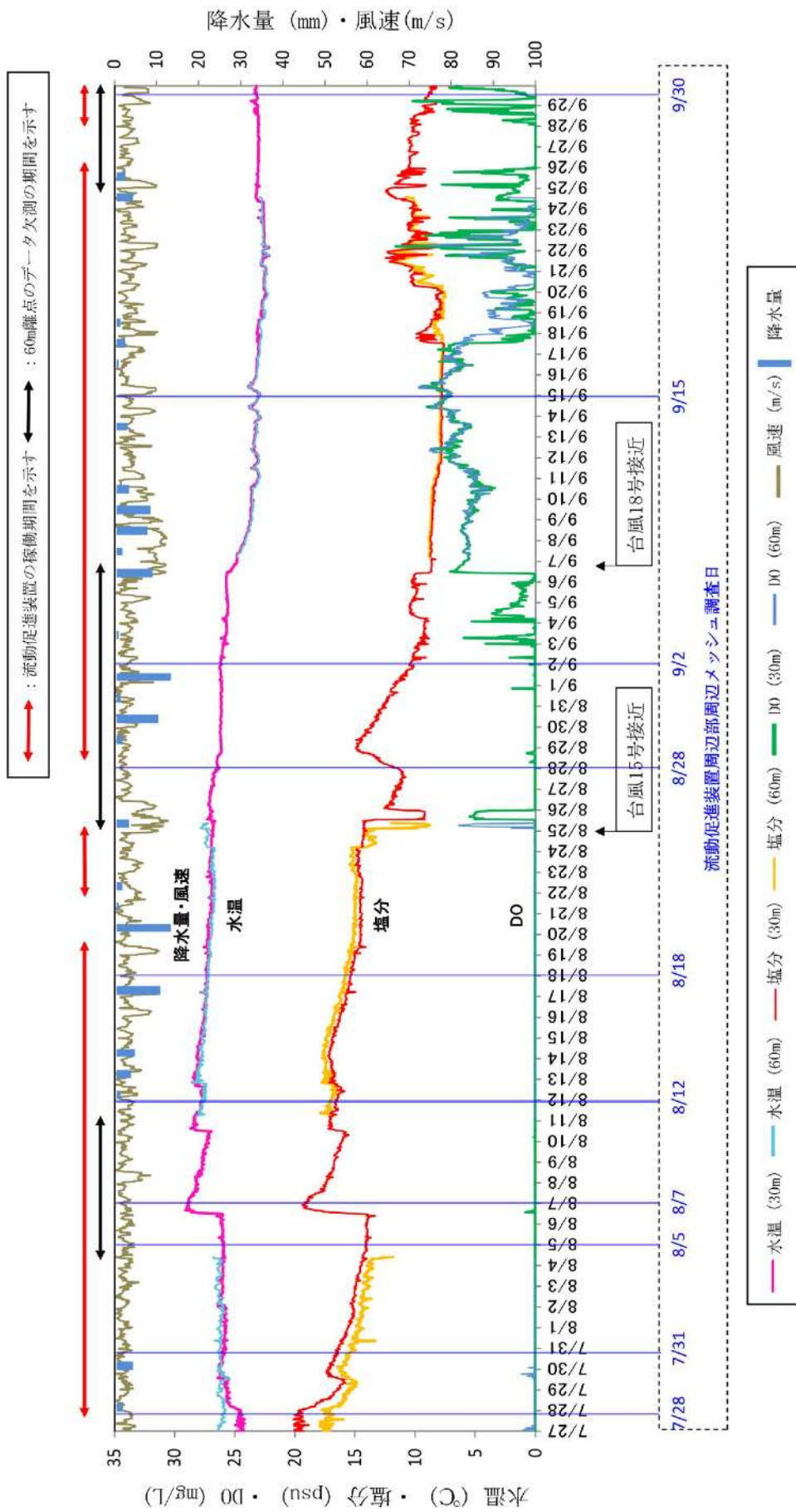


図 1-97 水底設置水質計による連続観測結果

e) 池全体のメッシュ調査結果

当該調査とは別で実施している 毎月の池全域メッシュ調査結果 (底層部/水底直上 10cm 程度)	塩分濃度 (psu)	溶存酸素 (mg/L)

	塩分濃度	溶存酸素
2015 年 04/09		
05/07		
06/04		
07/02		
08/07		
09/03		

図 1-98(1) 池全体のメッシュ調査結果

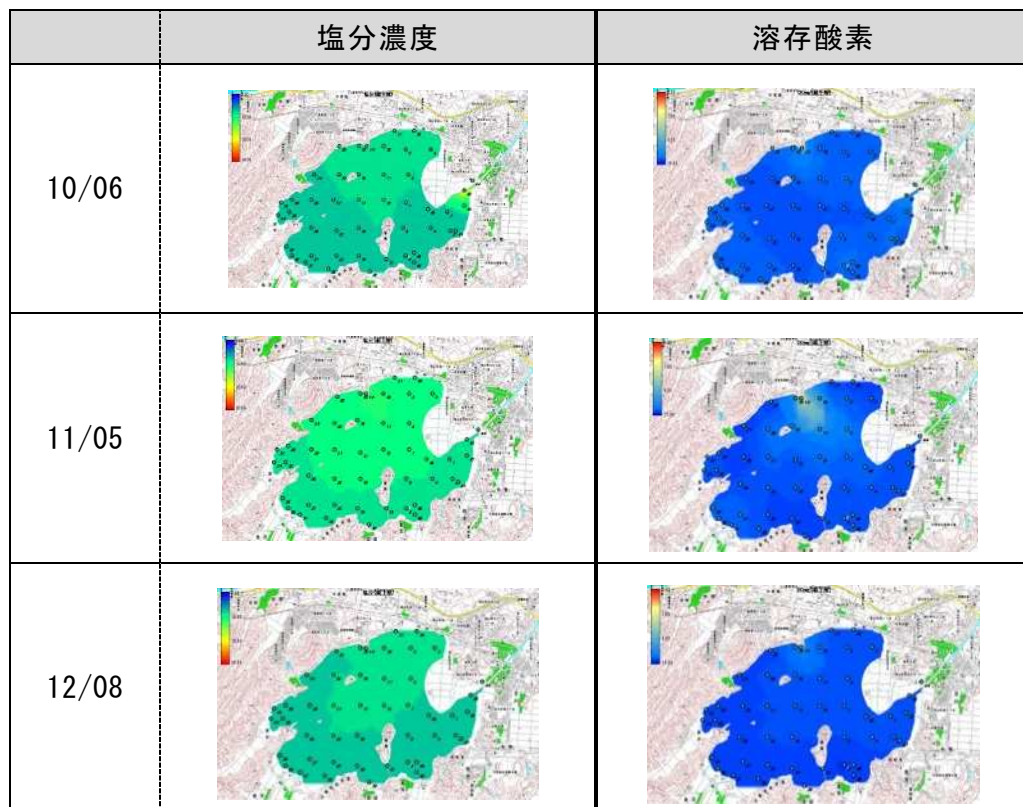


図 1-98(2) 池全体のメッシュ調査結果

3) 効果の評価と課題の整理

(1) 効果の評価

今回の実証試験の結果においては、画期的な溶存酸素の改善効果は得られなかったが、湖山池において、塩分躍層と貧酸素水塊の発達は密接に関係しているのは明らかであり、塩分躍層の発達を抑制できれば、貧酸素水塊の発生範囲を縮小させる効果は期待できる。今後、①装置の設置時期を早めた躍層発達前の予防的な運用、②装置の能力アップ等による流動量の増加、の2点について改善を検討していく。

(2) 課題の整理

a) 効果の発現のための改善

今回は、強固な塩分躍層が発達した後での装置運用となってしまったが、春先の塩分躍層が発達していない時期から運用を開始することで、躍層発達の予防と躍層が形成されても脆弱なものになることが推測できる。

また、今回使用した装置は、塩分躍層を完全に破壊するまでの吐出能力は持っていないと推察できたが、装置の能力アップや複数台設置によって、塩分躍層の発達を抑制させることは可能と考える。

これらの改善によって、夏季の塩分躍層形成の弱体化（＝躍層の厚さの減少、表層部との濃度差の縮小）を目標とし、貧酸素化の低減によって間接的・長期的な水質改善等の効果が期待できる。さらに、夏場のヘドロからの栄養塩（特にリン）の溶出抑制による水質改善や、硫化水素の発生抑制に伴う魚介類の斃死抑制による湖内生物の保護を期待できる。

b) 検討委員からの指摘事項

検討会委員からの指摘として、①泥の酸化還元電位の測定が必要、②流動だけで厳しいようであれば高濃度酸素水を組み合わせる考えもある、③装置を置く向きがヒントになりそう、との助言を受けた。

(3) 設置費用及び維持管理費用（参考）

今回の事業に関しては、流動促進装置の設置・運転中の保守管理・撤去を一連業務として装置を所有している業者に委託した。その際の委託費用は次表のとおり。

表 1-53 設置費用及び維持管理費用(平成 27 年度 鳥取県湖山池)

項目	費用	備考
1 設置工事費	375 万円	機器の水中へ設置工事、電源設備の設置 機器輸送費
2 運転管理費	420 万円	機器損料、メンテナンス費
3 撤去工事費	375 万円	機器撤去工事、機器輸送費
4 電気使用料	1ヶ月当たり 約 8~10 万円	750kWh 商用電源 200V 契約

1.4 島根県宍道湖（水草の刈り取り）

1) 事業概要と期待される効果

(1) 事業概要

表 1-54 島根県宍道湖のモデル事業の概要

項目	内容
事業名	宍道湖の水草等の異常繁茂による底層溶存酸素量への影響把握及び効率的な保全対策の検証に係る事業
事業の目的	宍道湖沿岸域に広がる水草等繁茂による「底層溶存酸素量」への影響を把握する調査を行うとともに、この水草繁茂域の底層溶存酸素量の改善を測ることを目的とする。その際、効率的な水草等除去手法を用いることで、対策区域周囲の水草繁茂エリアにおいても底層溶存酸素量が高く維持でき、単位作業当たりの効果が及ぶ面積をより広くしていくことを目指す。
対策の概要	宍道湖北岸の水草等が異常繁茂する沿岸域(水深約2m)において、等深線に沿うように一定範囲の湖底を定期的に漁具等で掻き、水草等を除去・繁茂抑制する。そして、水草等を除去・繁茂抑制したライン内及びそのライン間に残る水草等の繁茂エリア、水草除去を実施していない水草等の繁茂箇所において、連続測定機器等を用いて底層溶存酸素量等を測定し、対策効果の検証を行う。
対象年	平成 30 年度、令和元年度
事業実施前の湖沼の状況	宍道湖は、山陰地方の中央部に位置する汽水湖である。斐伊川-宍道湖-大橋川-中海-境水道-日本海と連なる斐伊川水系に属する。昭和 30 年代後半以降は湖底の植生はほぼなく、年間を通して貧酸素状態にならない水深 4m 以浅の沿岸部はヤマトシジミの好漁場として利用。平成 24 年頃から水草等の繁茂エリアの拡大が目立ち始め、水草等の呼吸や分解及び湖流の停滞によって底層溶存酸素濃度が低下し、シジミ等への影響を危惧。
事業実施場所	事業実施水域は宍道湖北岸(秋鹿沖)とした。この水域は岸から水深 2.5m 程度まではなだらかに深くなっており、その沖で 1m 程度急激に水深が深くなっている。水草等は水深が急激に深くなる 2.5m 以浅で多く繁茂しており、その沖では急激に減少する。水草等の繁茂は宍道湖の他の地点よりも遅れ、平成 26 年頃から顕著となっている。また、底質は細砂～砂であり以前はヤマトシジミの好漁場であった。このことからかつては底層の貧酸素化はほとんどなかったことが伺える。

(2) 対策の内容と期待される効果

a) 対策の内容

宍道湖北岸の水草等が異常繁茂する沿岸域(松江市秋鹿町沖:水深約2 m)において、等深線に沿うように一定範囲の湖底を帯状の水路を2本、定期的に漁具(マンガ)等で掻き、水草等を除去し繁茂を抑制する。

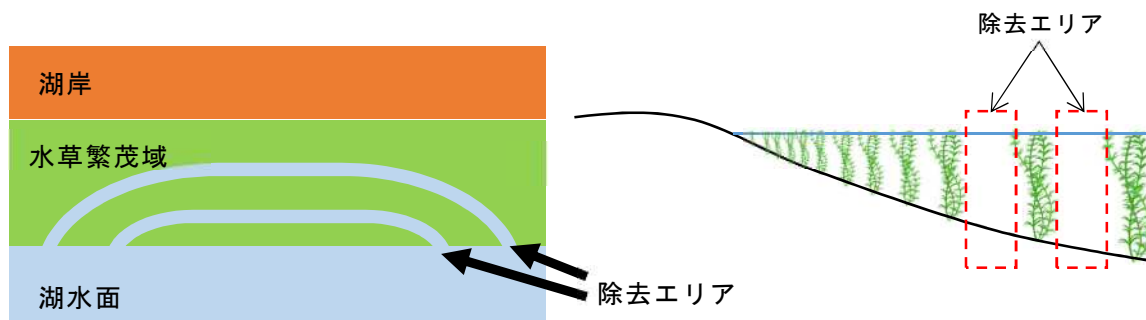


図 1-99 水草除去のイメージ図

b) 期待される効果

水草等除去により湖水の流動を確保するとともに、水草除去エリアでの底層溶存酸素量を改善し、さらに、水草等の除去範囲のみならず除去の間の水草繁茂範囲についても底層溶存酸素量が確保されることが期待される。

2) 効果を把握するための調査

(1) 調査計画

a) 調査地点

表 1-55 調査地点

試験区	地点B	保全対策の効果を確認する地点	水深2m程度、水草なし
	地点C、地点D	保全対策の波及効果を確認する地点	水深2m程度、水草あり
対照区	地点A	比較対照の地点	水深3m程度、水草なし
	地点E		水深2m程度、水草あり

b) 調査内容

表 1-56 調査内容

調査区分	1) 水質等連続調査	2) 流向流速連続調査	3) 水質流動等確認調査	4) 水草等の繁茂状況調査 A	5) 水草等の繁茂状況調査 B	5) 水草等の繁茂状況調査 C
調査地点	地点 A、B、C、D、E	地点 A、B、C、E	地点 A、B、C、D、E	地点 A、B、C、D、E	地点 A、B、C、D、E	突道湖一円沿岸域
調査回数	連続調査		22回	6回	全域調査	
調査時期	7月～11月		7月～11月	7月～11月	1回 7～8月 秋鹿沖調査 4回 7～10月	
調査項目	水温、DO、EC (湖底上 25cm)	流向流速 (湖底上 25cm)	水温、DO、EC、透明度 (透明度以外は鉛直分布を測定)	水中カメラ等による水草繁茂状況確認	ダイバーによる水草を採取した密度調査 ダイバー撮影による水中写真による水草繁茂状況確認	空中ドローンによる湖面の水草分布 藻場探査ソナーによる水面下の水草分布

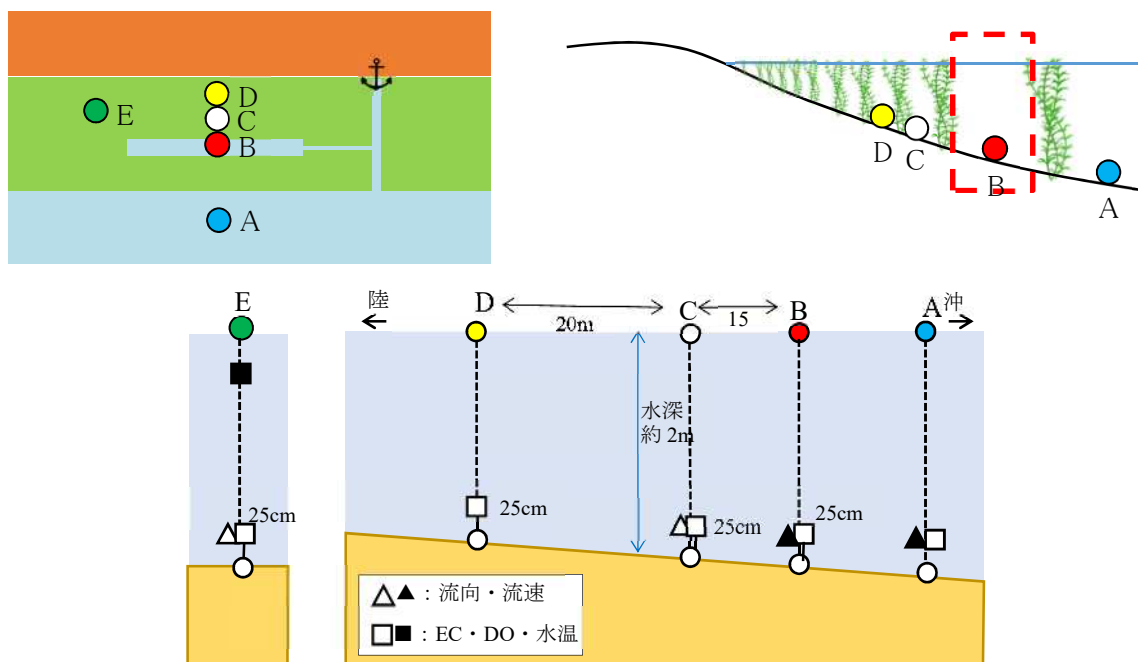


図 1-100 機器設置の概略

(2) 主な調査結果と考察

a) 対策の実施状況

表 1-57 実施状況

回数	作業日	作業人数	除去量(kg)	割合(%)				除去作業の		備考
				オオササエビモ	シオグサ	ツツイトモ	その他(ナメタレ)	技術的困難さ	労力	
1	6/19	6	200	40	40	10	10	3	3	・今年は春先からシオグサ(ナメタレ)が大量発生。 オオササ、ツツイトモの発育が遅い感がある。 ・塩分濃度が例年に比べて高い。
2	6/26	6	200	40	40	20	0	3	3	対象区外には、水面までオオササが散見され、一週間で成長。
3	7/3	6	200	40	30	30	0	3	3	・ナメタレが減ったが、オオササ、ツツイトモ成長が早い。 ・塩分濃度が高い。 ・シジミの稚貝の付着なし。
4	7/10	6	250	40	20	40	0	3	3	・成長が早く感じる。 ・塩分濃度が高い。
5	7/17	6	300	30	40	30	0	3	3	・作業前半、大量のシオグサ類がかかるが、徐々に減少。
6	7/20	6	250	30	50	20	0	3	3	風の影響で対象区外?
7	7/31	6	300	30	50	10	10	3	3	・この一週間で成長は著しく速い。
8	8/7	6	300	40	40	0	20	3	3	・8回目であり、除去コースはスムーズに作業が出来た。 ・2週連続水温30℃超であり、シジミが心配である。
9	8/10	7	200	40	30	10	20	3	3	・水面ぎりぎりまで繁茂しているが、シオグサに押されている様子。
10	8/21	6	300	50	20	20	10	3	3	・台風の影響により、シオグサが岸に打ち上げられた分、ツツイトモの割合が増加。
11	8/28	6	200	70	10	20	0	3	3	・水温が下がったためか、成長が遅くなった感じ。 ・対象区外は変わらずオオササ、ツツイトモが繁茂。
12	9/4	6	150	70	10	20	0	3	3	・昨年同時期と比べ、水面まで繁茂している範囲は少ない。 ・水深1.5-2mについては特に少ない。
13	9/11	7	150	70	10	20	0	3	3	・好天が続いており、水温が未だ30℃あるので、シジミの生育が心配、風雨が適当に欲しい。
14	9/18	6	100	70	0	10	10	3	3	・全体的にスムーズに作業できた ・コース外は、オオササエビモを中心にまだまだ繁茂している。
15	9/25	6	100	80	10	10	0	3	3	・前週と変わらずスムーズに作業できた。 ・台風後でも、状況はあまり変化はなかった模様
16	10/2	6	100	80	0	0	20	3	3	・強風後のため、水面上に流れ草があるくらいで、特に変化はなかった。 ・コース外は、まだオオササエビモが繁茂している。
17	10/9	6	100	80	0	0	20	3	3	・前週から変わらずスムーズな作業が出来た。
18	10/16	6	100	80	0	0	20	3	3	・台風後の作業であったが、変わらずスムーズな作業であった。 ・オオササエビモも徐々に枯れつつある。水位が30cm位下がった。
19	10/26	6	80	80	0	0	20	3	3	・試験区内は若干枯れたオオササ類がある程度。 ・枯れた草の根が白い状態で取れるので、来年以降の効果もあるものと思われる。
20	10/30	6	80	80	0	0	20	3	3	・試験区は区内はほぼ刈り取りができており、一部、枯れた草の根が除去できている。
21	11/6	6	50	90	0	0	10	3	3	・先週と比べて水草の枯れが目立った。 ・対象区は、根が多く、除去できた。
22	11/13	6	10	80	0	0	20	3	3	・最終作業となり、除去対象区はほぼ完全に除去できており、若干の根が穫れる程度であった。

注) : 除去作業の技術的困難さ、労力は作業者の感覚により次の5段階で評価した

技術的困難さ: 1)非常に安易、2)安易、3)普通、4)困難、5)非常に困難

労力: 1)非常に安易、2)安易、3)普通、4)大変、5)非常に大変

※除去量、割合は秤等は用いず、作業者の目算で算出

※ナメタレ: 宍道湖の漁師が一般的に用いる言葉。シオグサが水中又は表層で腐敗し始めた状態のものを指している。

作業は漁船2隻を用い、1隻当たり操船者1名、除去作業者2～3名で実施した。

除去用の漁具は、通常、湖底耕耘に用いるマンガを水草除去用に一部改良したものを使用し、漁船で引くことにより、湖底から生える水草等を引き抜き、船の抵抗等から掛かった量を判断し、作業員が船上に持ち上げた。

水路の位置と形状を正確にするため、事前に目印となるブイを設置して作業を行った。

作業時間は、夏期は午前7時から開始し、1回当たり2時間で、出港から回収した水草等を陸揚げし寄港するまでを含む。



水草除去に使用したマンガ



マンガ曳き作業(後進)



水草引き上げ作業



帰航時の船上の状



水草除去エリア

水草除去の状況(令和元年10月)

b) 対策による水草の除去状況

水路の大きさ（レーザー測距器及びドローン画像の解析による）

・長さ 100m×幅 15m=1500m²

6/19（初回）の作業後には計画範囲内の除去が出来たが、取り残しもまだある状況であった。6/26（2回目）の作業で計画範囲内の湖底からほぼ水草が除去出来た。8月3日時点の確認では、水路幅は計画よりも広く約15mの幅となった。



6/14(除去前)



7/3(除去3回目後)

水路の形成に当たっては、なるべく計画通りの水路とするため、事前を目印となる標識ブイを浮かべて作業を行った。昨年度は弧を描く形状で水路を作成したのに対し、本年度は直線上の水路であったため、昨年と比べ単純な作業となり、作業面積が拡大したにもかかわらず、同等の作業時間で毎回の作業が出来た。また、作業の開始が6/19と昨年よりも3週間程度早かったことから、水草等の繁茂丈が80cm程度と昨年度作業開始時の2m弱よりも短く、船の航行に支障が少なかったことも、作業初期の作業性に大きく影響していた。

c) 調査実施状況

i)水質等連続調査、流向流速連続調査、水質流動等確認調査、水草等繁茂状況A
(水中カメラによる調査)

調査日	実施内容	
7/3	観測・設置	
7/10	観測	データ吸出し
7/17	観測	メンテナンス
7/19	回収のみ	データ吸出し
7/24	観測・設置	
7/31	観測	メンテナンス
8/7	観測	データ吸出し
8/13	回収のみ	データ吸出し
8/21	観測・設置	
8/28	観測	メンテナンス
9/4	観測	データ吸出し
9/11	観測	メンテナンス
9/18	観測	データ吸出し
9/25	観測	メンテナンス
10/2	観測	メンテナンス
10/9	観測	データ吸出し
10/11	回収のみ	
10/15	設置のみ	
10/16	観測	メンテナンス
10/23	観測	メンテナンス
10/30	観測	データ吸出し
11/6	観測	メンテナンス
11/13	観測・回収	終了

水質等連続調査及び流向流速連続調査に用いるセンサーは10～20分毎にデータを記録した。

連続観測用機材は以下のとおり。

DO、水温：JFE アドバンテック製 COMPACT-DOW (ワイパー付)

JFE アドバンテック製 AROW2-USB (ワイパー付)

PME 製 miniDO₂T (ワイパー付)

EC、水温：JFE アドバンテック製 INFINITY-CT

流向流速：JFE アドバンテック製 INFINITY-EM

JFE アドバンテック製 AEM-HR

水質流動等確認調査は機器メンテナンス時等を実施した。各調査地点で鉛直水質データ及び湖底上25cmの流向流速を測定した。

確認調査に使用した機材は以下のとおり

DO、EC、水温：JFE アドバンテック製 ASTD103、AAQ170

流向流速：アレック電子製 ACM200-D

ii)水草等の繁茂状況調査B(ダイバーによる調査)

令和元年7月3日、7月24日、8月21日、9月11日、10月16日、11月13日
ダイバーが潜水し、各地点付近においてそれぞれ2カ所ずつコドラート内(30cm×30cm)の水草及び湖底表層から深度5cmまでの底質を採取。あわせて、湖底付近の動画を撮影した。また、湖底付近の溶存酸素濃度が低下すると予想された8月及び9月の調査時に、宍道湖で最も主要なベントスであるヤマトシジミの活性度を確認するため、ヤマトシジミの個体を採取した。

水草については、実験室に持ち帰り種類毎に分類し湿重量及び乾燥重量を測定し、単位面積当たりの密度を算出した。

底生生物については、採取した底質を船上で直ちに500µmメッシュのふるいにかけて、ふるいに残ったものを10%ホルマリンとなるよう固定して実験室に持ち帰った。その後、種類毎に分類し種の同定と計数を行った。

ヤマトシジミの活性度調査については、採取したヤマトシジミを船上で直ちに解体し、体液を採取し実験室に持ち帰った。その後実験室で有機酸の分析に供した。

iii)水草等の繁茂状況調査C(水中ドローン、藻場探査ソナーによる調査)

令和元年8月1日、3日～7日(空中ドローン調査)

令和元年7月18日、19日、25日(藻場探査ソナー調査)

・空中ドローン調査

上空100mの空中ドローンにより水草の繁茂域を写真撮影し、オルソモザイク化後、宍道湖全域の上空から観察できる水草の範囲を特定。1枚の写真の範囲は、縦:100m、横:150m程度

撮影機材: DJI製 Phantom4Pro v2.0、

撮影用ソフトウェア DJI製 Ground Station Pro

オルソモザイク作成ソフトウェア Agisoft製 MetaShape Professional
QGIS 2.18

・藻場探査ソナー調査

小型船の舷側にビーム発信器(200kHz・ビーム角8.5°)を取り付け水面下の植生高さ、水深、底質の分類のためのデータを得る。水面の水草繁茂域の沖側を測量し、空中ドローンによる調査を補完し、宍道湖全域の水草繁茂状況を把握

使用機材 BioSonics製 底質判別・藻場探査ソナー MX

データ収集ソフトウェア BioSonics製 Visual Acquisition

データ解析ソフトウェア BioSonics製 Visual Habitat

GISソフトウェア QGIS 2.18

d) 底層溶存酸素量の変動

図 1-101 に測定開始から調査終了日である 11/13 までの、連続測定を行った 5 地点の湖底上 25cm の溶存酸素濃度 (DO) の変化を示す。

この測定結果からは、継続して DO が 2mg/L 未満となることは比較的少なく、9/30 以降は水草繁茂域である地点 B~E において DO が 2mg/L 未満となる事例は観測されなかった。

水草除去開始後から 9 月上旬にかけては、保全対策区である地点 B がその周囲である地点 C,D および繁茂エリアの対照区である地点 E よりも高いことが多く、水草除去の効果が現れていると考えられた。

また、水草繁茂域よりも沖合に設定した地点 A については、9 月以降、他の 4 地点よりも低い値を示すことが多い。これは湖盆に存在した湖底付近の貧酸素水塊が風の影響を受けて押し寄せたものと考えられた。

以下いくつかの事例について検討を行った。

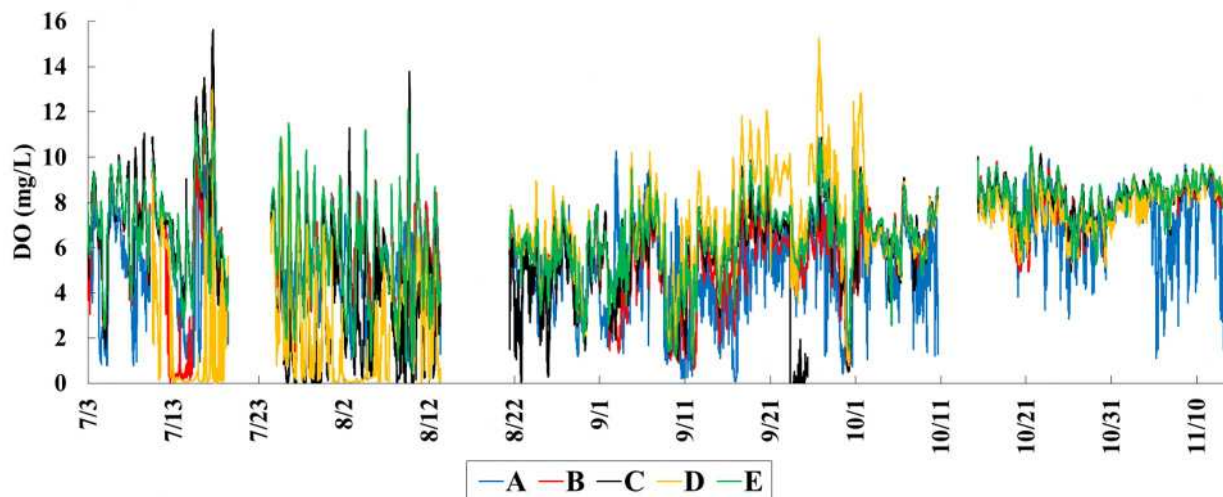


図 1-101 地点毎の溶存酸素濃度の変化

図 1-102 に 7/31 から 8/6 までの各地点の湖底から 25cm の DO の変化を示す。

黒色の C 地点、黄色の D 地点で DO が 2mg/L を下回っている。黒色の C 地点については、夜間から早朝にかけて低下しており、光合成がなくなった際の呼吸及び底質の消費の影響と考えられる。黄色の D 地点については 8/1 深夜から 8/5 昼過ぎにかけて DO が継続的に 0mg/L 付近を示している。これについては、D 地点周囲の状況から、シオグサが堆積したもしくは DO センサーにからみついたためと考えている。

この場合に限らずシオグサがからみつく事例が時々見られたが、シオグサは、非常に移動しやすいが、障害物がありそれにはからみついた場合はその場所にとどまることになり、一定期間とどまった場合にはその下で貧酸素もしくは無酸素状態を引き起こすことが考えられる。ただし、シオグサがからみついた場合のシオグサ内部あるいは下部の指示値について信頼性があるものかの知見がなく、このデータの取り扱いを検討しているところである。

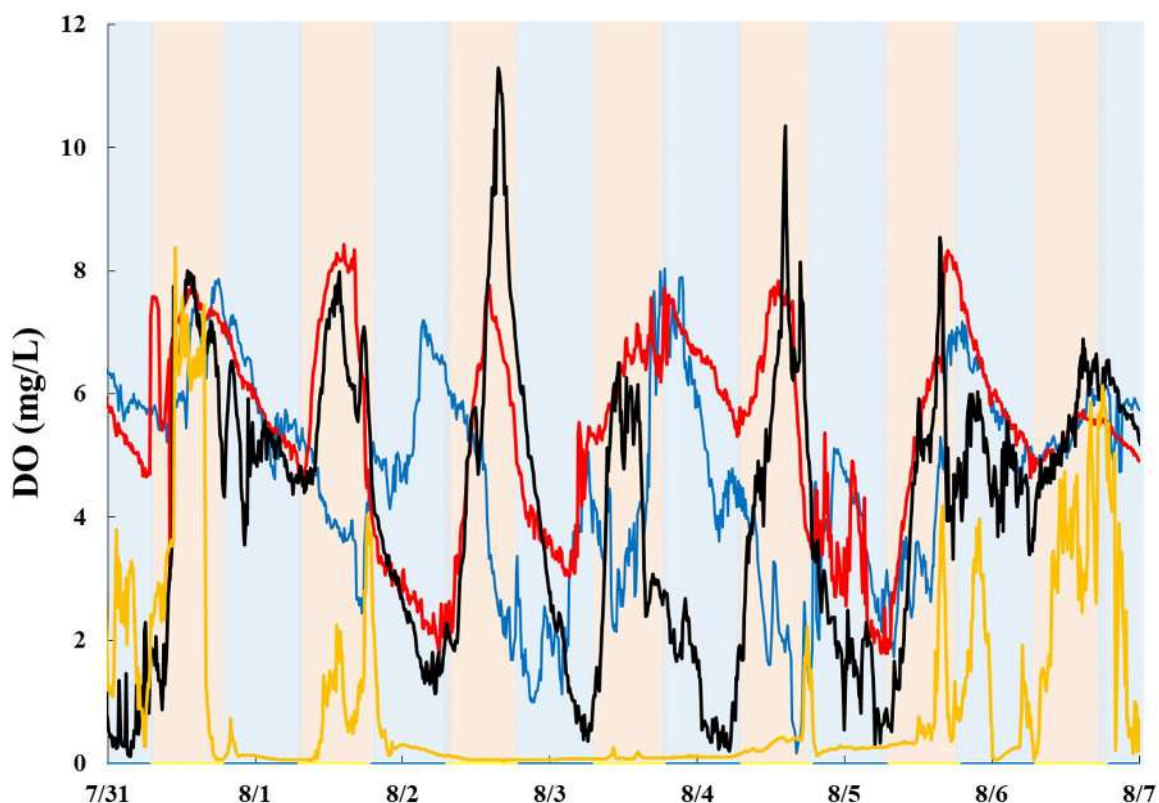


図 1-102 各調査地点底層における溶存酸素濃度の変化(7/31～8/6)

図 1-103 に 7/24 から 7/30 までの繁茂区（対照区）である E 地点の上層と湖底から 25cm の DO の変化を示す。

紫色が上層、緑色が湖底から 25cm の値を表しているが、上層、底層ともに日周変化を示しており、昼前に極大値を、日の出直後に極小値を示した。また、その振れ幅は極大値については上層底層とも同程度となることが多く、極小値については底層の方が低くなることが多いが上層と同程度となる日もある。極小値に上下の差があるのは風が弱く上下混合が少ない時で、同程度となるのは、風によって生じる波浪による混合がある日と考えられる。この図からは、湖底付近の酸素消費速度は最大でおよそ $0.6\text{mg/L}\cdot\text{h}$ と読み取れる。

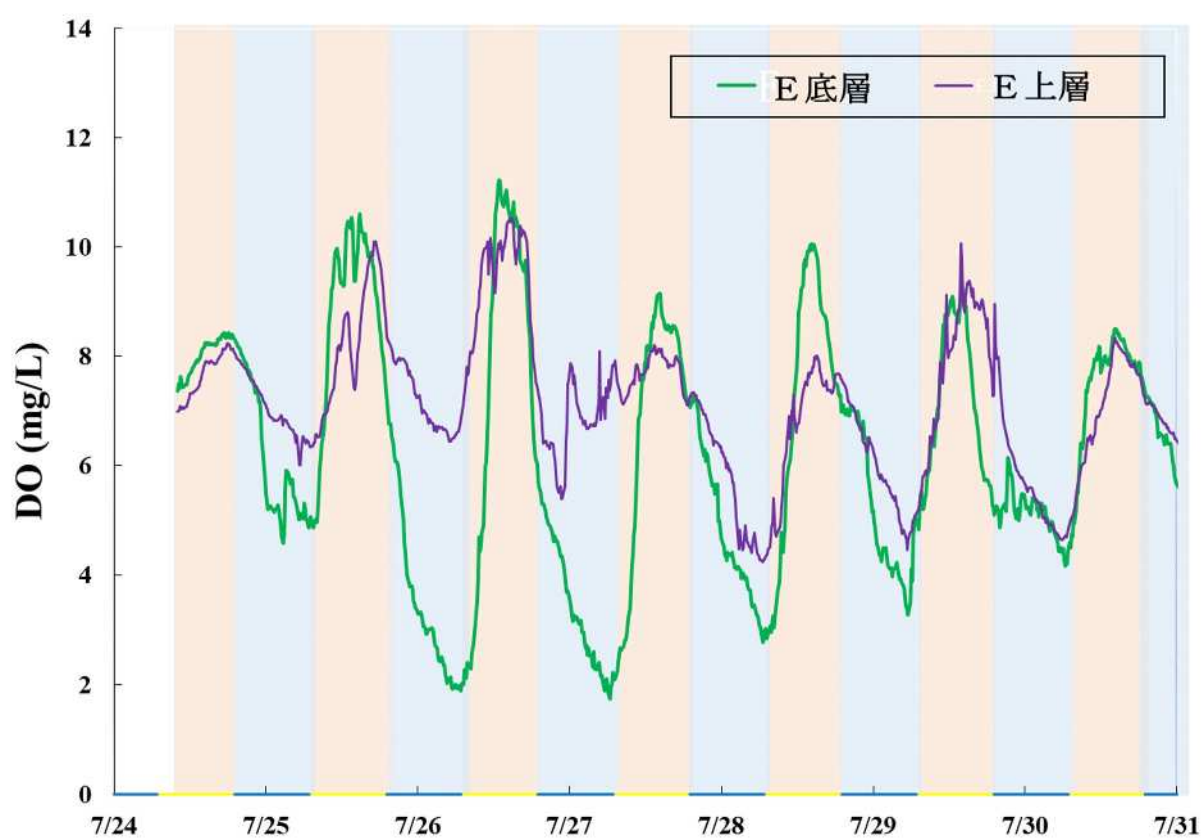


図 1-103 E 地点上層及び底層における溶存酸素濃度の変化(7/24~7/30)

e) 水草の繁茂状況調査B(ダイバーによる調査)

図 1-104 に一例として9月11日の地点毎の湖底付近の様子を示す。

また、表 1-58 に調査毎、地点毎の単位面積当たりの水草等の重量を示す。

対策実施区であるB地点では、水草が観察されるもののその量のごくわずかであり、水中カメラの映像を見ても水草が丁寧に除去されていることが分かる。

沖合の対照区であるA地点では、調査期間を通じて水草等はほとんど観察されなかった。

一方繁茂区であるC、D、E地点は繁茂にばらつきがあり、調査毎に水草量の変動が大きかった。パッチ状に繁茂しているため、コドラートの位置がパッチにはいるかどうかで大きく変わっている。ただし、全体的に見れば、オオササエビモが7月後半から10月にかけて多く見られたのに対し、シオグサ及びイトモ類は7月から8月にかけて多く畏敬港が見られた。D地点については4回とも水草の重量が得られていないが、水中カメラでの観察時には水草の存在が確認されている。

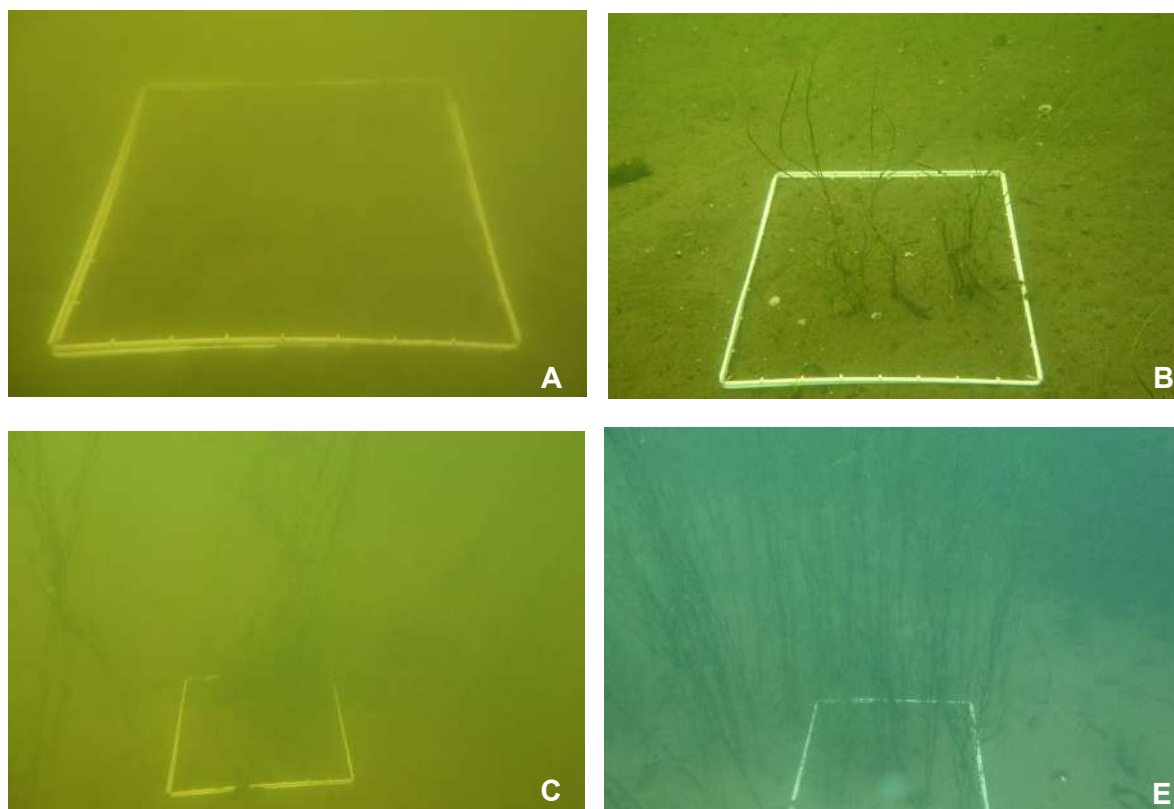


図 1-104 地点毎の湖底付近の様子(9月11日)

表 1-58 調査毎、地点毎の単位面積当たりの水草等の重量

令和元年7月3日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0	0	0	0
B	0	33	97	130
C	0	88	972	1061
D	0	0	0	0
E	1	65	1101	1166

令和元年7月24日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0	0	0	0
B	0	1	4	4
C	914	1746	362	3023
D	0	0	0	0
E	0	1	674	676

令和元年8月21日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0	0	0	0
B	0	1	27	27
C	783	2808	583	4174
D	0	0	0	0
E	13	1249	1161	2423

令和元年9月11日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0	0	0	0
B	42	0	12	54
C	458	68	346	871
D	0	0	0	0
E	1254	15	341	1610

令和元年10月16日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0.0	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.0	123.3	123.3
C	1107.8	5.6	5.0	1118.3
D	0.0	0.0	0.0	0.0
E	1158.9	6.1	0.0	1165.0

令和元年11月13日				単位:g/m ²
湿重量	オオササエビモ	シオグサ	イトモ類	合計
A	0.0	0.0	0.0	0.0
B	1.1	1.7	21.7	24.4
C	90.6	0.0	13.9	104.4
D	0.0	0.0	0.0	0.0
E	383.9	1.1	1.1	386.1

f) 水草の繁茂状況調査C(空中ドローン、藻場探査ソナーによる調査)

図 1-105 に、調査対象エリア付近のオルソモザイク画像を示す。

今回の調査エリアは図中の赤丸付近。解像度を上げると広域の水草の繁茂状況を良く把握することが出来る。現在、宍道湖全域の画像処理を継続して実施中。



図 1-105 宍道湖北岸のオルソモザイク画像(8月3日)

図 1-106 に、藻場探査ソナーによる調査対象エリア付近の水面下の水草等の繁茂丈を示す。

この測定は、昨年度の経験から、水深 2m 及び 3m の等深線に沿って実施しており、岸よりの 2m 線はおおむね上記の空中ドローンで判別された水草繁茂域の縁を測定していることになり、水面に現れない水草の繁茂域を把握できている。

今後、空中ドローンと藻場探査ソナーの結果をあわせて解析することで、宍道湖全域の水草の繁茂状況を把握する。

さらに、潜水調査による水草密度とも関連させ、宍道湖全域の水草繁茂量をより高精度に推計する予定。

また、今回の対策手法を宍道湖全域で実施する場合の検討資料として用いることが出来ると考えている。

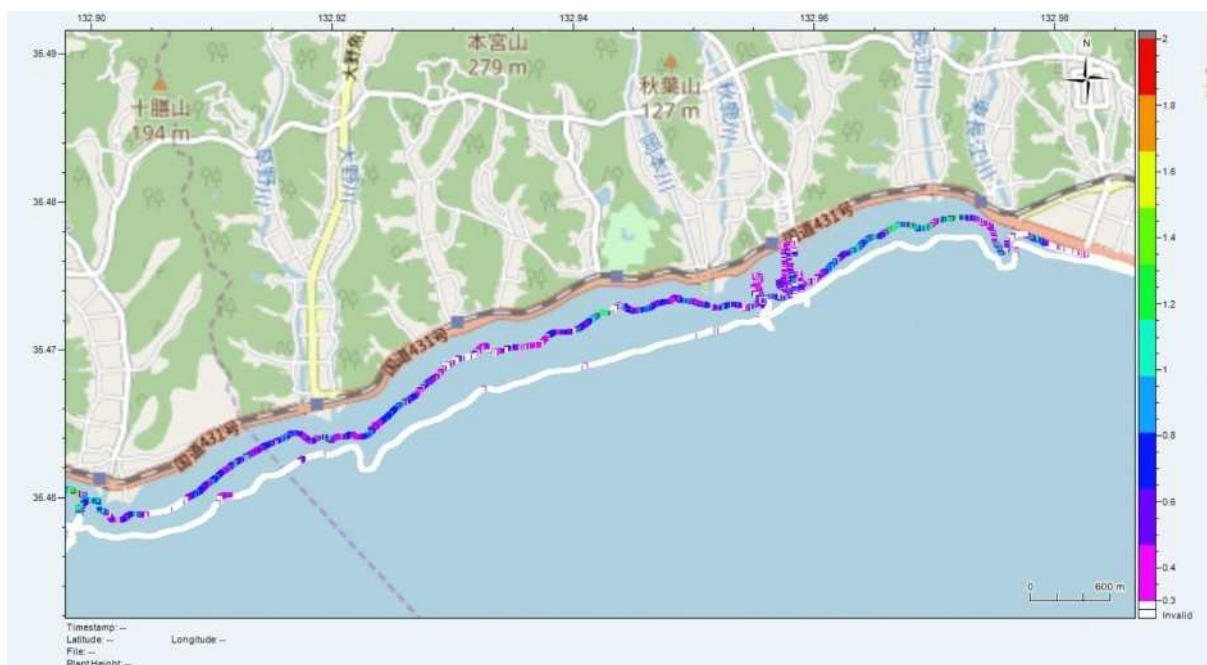


図 1-106 藻場探査ソナーによる水面下の水草等の繁茂丈(平成 30 年 7 月)

3) 効果の評価と課題の整理

(1) 効果の評価

対象区(水草を除去していない地点 E)において底層溶存酸素量が2mg/L 以下まで低下した際に、保全対策区域(地点 B)においてはおおむね2mg/L 以上で維持できることを確認できた。

なお、保全対策区域(地点 B)においても、底層溶存酸素量が2mg/L 以下まで低下することがあることも確認されたが、シオグサの影響が大きいと考えられた。

一方、保全対策区域の近傍(地点 C、D)においては DO の低下が認められたことから、その程度も含め、詳細な解析が必要である。

(2) 課題の整理

a) 事業の実施及び調査時の課題

・事業エリアの選定

昨年度の状況もふまえ、水草繁茂域の中に調査地点を設定できた点は良かったが、気象、水象条件が異なるためか昨年度と水草の繁茂の様子が異なり、繁茂の濃淡が出来てしまい、評価が難しくなっている。

・水草除去方法

昨年度本年度と、水草の繁茂後に、ある一定のエリアの水草をない状態を維持する方針で事業を進めてきたが、水草除去による底層溶存酸素の改善エリアは限定的である可能性が示されている。

・糸状藻類(シオグサ)による影響

本年度は、調査初期にシオグサが繁茂し、湖底を覆ったほか、センサーにもからみつけていた。シオグサの除去対策や、測定値の評価について検討していく必要があると考えている。

・廃棄物

水草の回収により廃棄物が発生する。水草等が繁茂する前から保全対策(水草等の除去・繁茂抑制)を講じることにより、回収される廃棄物の減量が期待される。

b) 検討委員からの指摘事項

検討会委員からの指摘として、①DOの低下がシオグサの被覆によるものか、シオグサがセンサーに絡みついたことによるものかは全く違うことなので確認が必要、②刈り取りの作業量と面積との関係等についても考察すること、③早目に除去して繁茂を防ぐことで、最終的な回収量が少なくなり、費用が節減できることが説明できれば導入の促進になる、との助言を受けた。

(3) 設置費用及び維持管理費用（参考）

(令和元年度)

設置費用 なし

	数量	単位	単価	金額	備考
水草除去作業費					
除去作業船備船料	46	隻	3,000	138,000	2隻/日×22日、1隻/日×2日
除去作業人件費	138	人	10,000	1,380,000	6人/日×23日
漁具修繕費	1	式	70,000	70,000	
雑費	1	式	10,000	10,000	目印用旗等
小計				1,598,000	
廃棄物処理費用					
廃棄物処分費	10,000	Kg	15.4	154,000	1,000kg/回×10回
廃棄物作業人件費	10	人	18,000	180,000	1人/回×10回
廃棄物運搬費	10	台	14,500	145,000	2tパッカー車×10回
土嚢袋	600	枚	16	9,600	
小計				488,600	
				2,086,600	
消費税				208,660	
合計				2,295,260	