

5. 湖流創出による水環境改善実験

1. 目的

本実験は、内湖や閉鎖性水域における汚泥の堆積、水質悪化、植物の異常繁茂による航行、景観阻害、悪臭等の諸問題を、「湖流の創出」によって解決をはかることを目的とし、平成 15 年 12 月より稼働している2つの装置の環境改善効果を検証するものである。汚濁防止膜により3つの水域を設けて、実験区1には「噴流型流動促進式水域浄化装置」(以後、噴流型という。)、実験区2には「湧昇循環流方式を用いた水質・底質改善装置」(以後、湧昇型という。)を設置し、何も設置しない対照区との比較調査を実施した。

2. 実験水域および実験装置

本業務では木浜内湖 1 号水路を実験水域とし、図 2-1 及び図 2-2 に示すとおり汚濁防止膜によって 3 つの水域(隔離水塊)を設けて実験を行うこととした。

なお、3 つの水域は、それぞれ実験装置を設置する 2 つの実験区と従来のまま放置する対照区に区分し、実験区と対照区の比較検討を行うことにより装置の有用性を確認することとした。

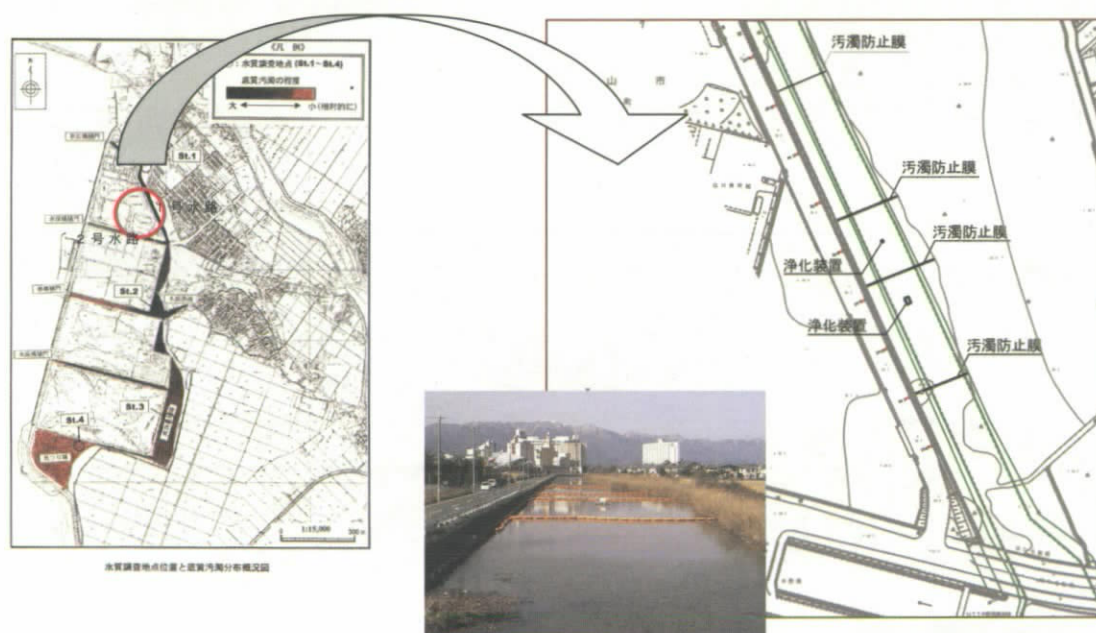


図 2-1 実験水域 (木浜内湖 1 号水路)

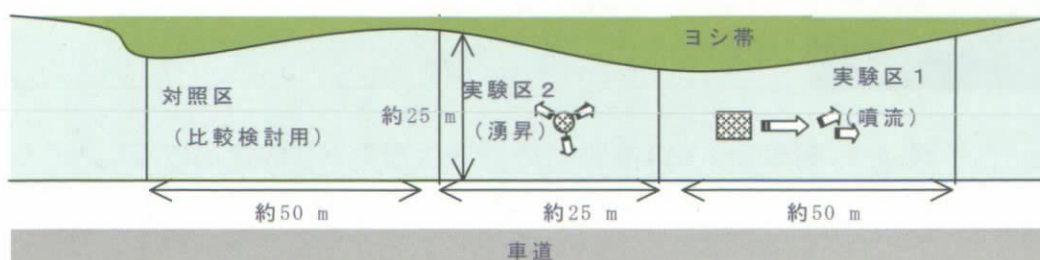
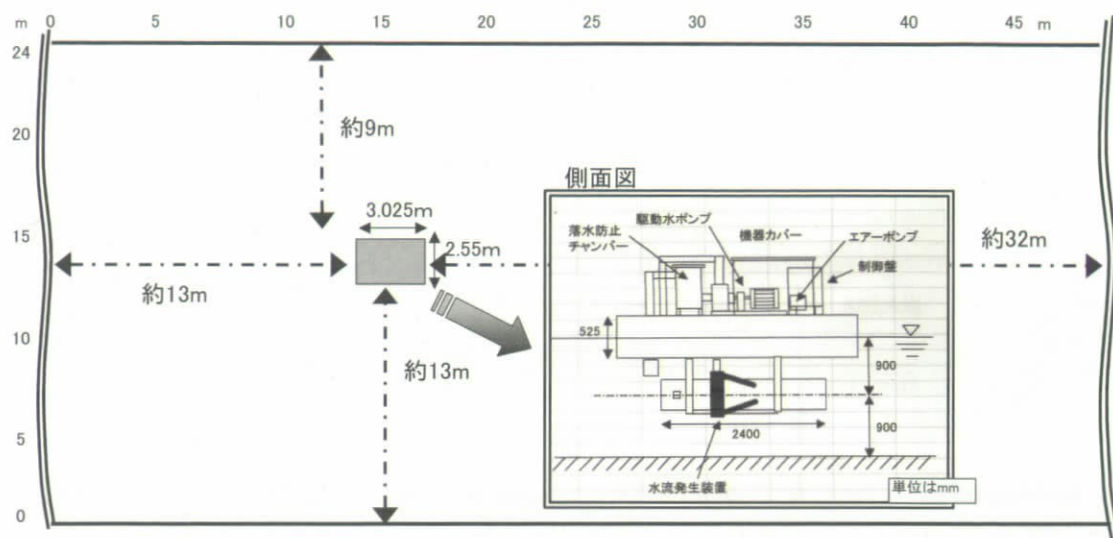


図 2-2 実験水域の概要

実験区1には、噴流型を設置した。実験水域内での装置位置図および装置の概要を図2-3に示す。



*平均水深(水質現場測定地点中)は、1.5m(7,8月)～1.8m(5,12月)

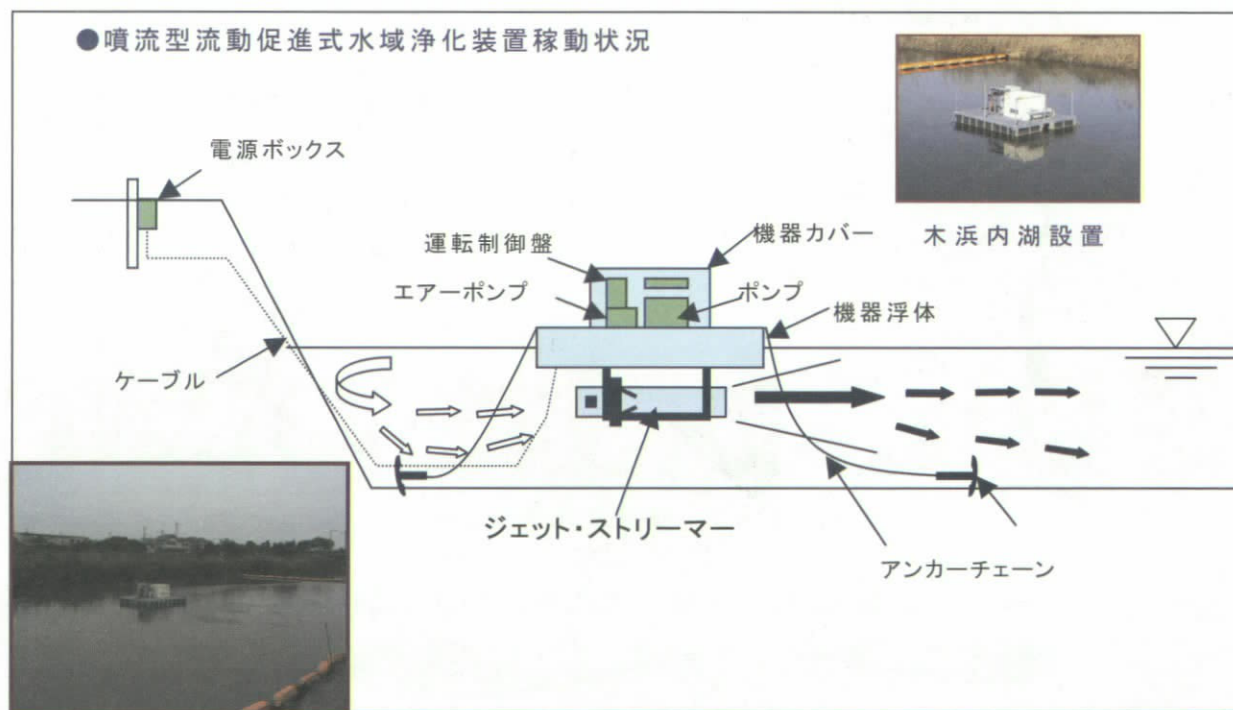


図 2-3 実験区1での噴流型の設置位置および装置の概要

実験区2には、湧昇型を設置した。実験水域内での装置位置図および装置の概要を図2-4に示す。

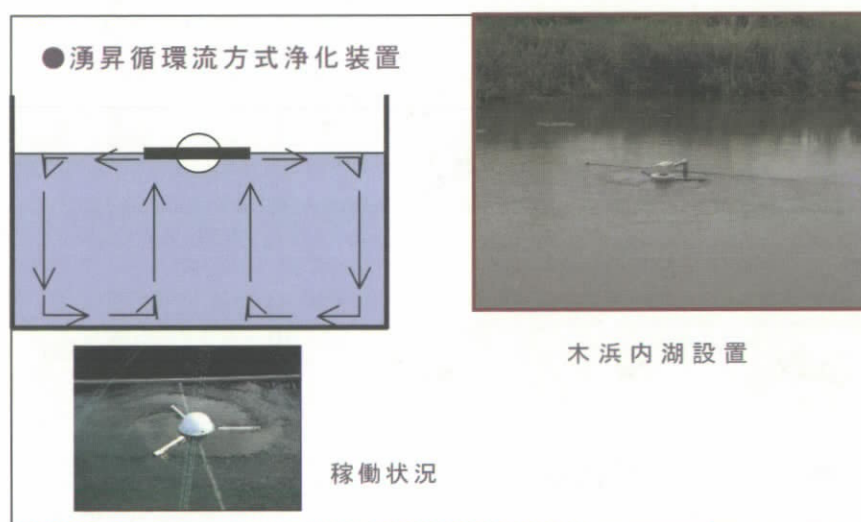
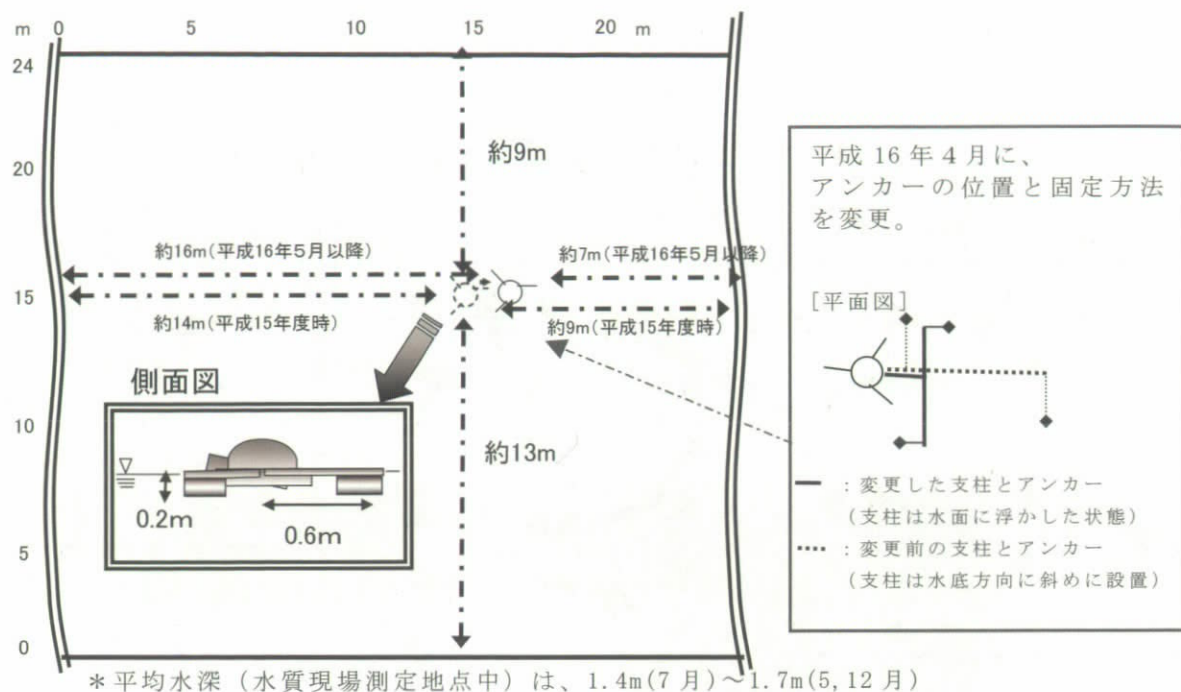


図2-4 実験区2での湧昇型の設置位置および装置の概要

各装置の仕様を表2-1に示す。

表2-1 装置仕様

	噴流型	湧昇型
寸法	3,025×2,550 mm (水流発生部 2,400×φ400 mm)	回転半径=600 mm 羽数:3
消費電力[kW]	2.24	0.06
駆動水量[m ³ /日]	16,000	12,400
[m ³ /時間]	670	520
[m ³ /秒]	0.18	0.14

3. 実験期間中の実験水域の状況

3.1 装置稼働による流向・流速の状況

平成 15 年度の調査において実施した装置稼働時の流向・流速状況を図 3-1-1(1)～(2)に示す。また、湖流の特徴を、表 3-1-1 に示す。

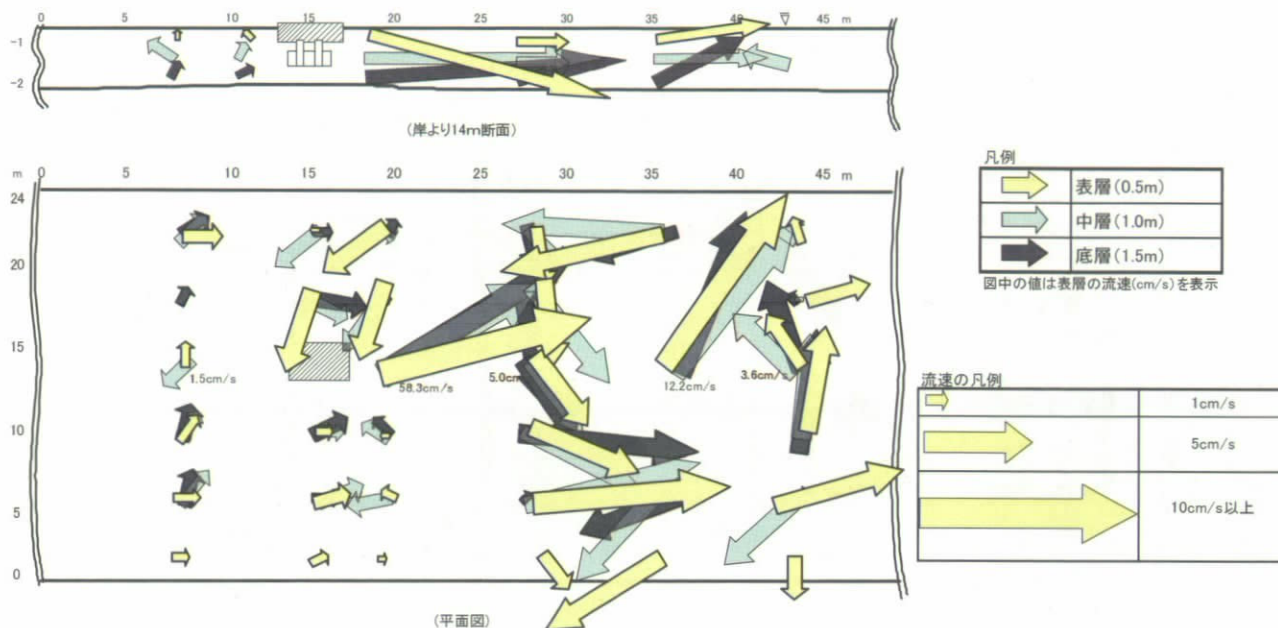


図 3-1-1(1) 実験区1(噴流型)の流向・流速状況(上:断面、下:平面)

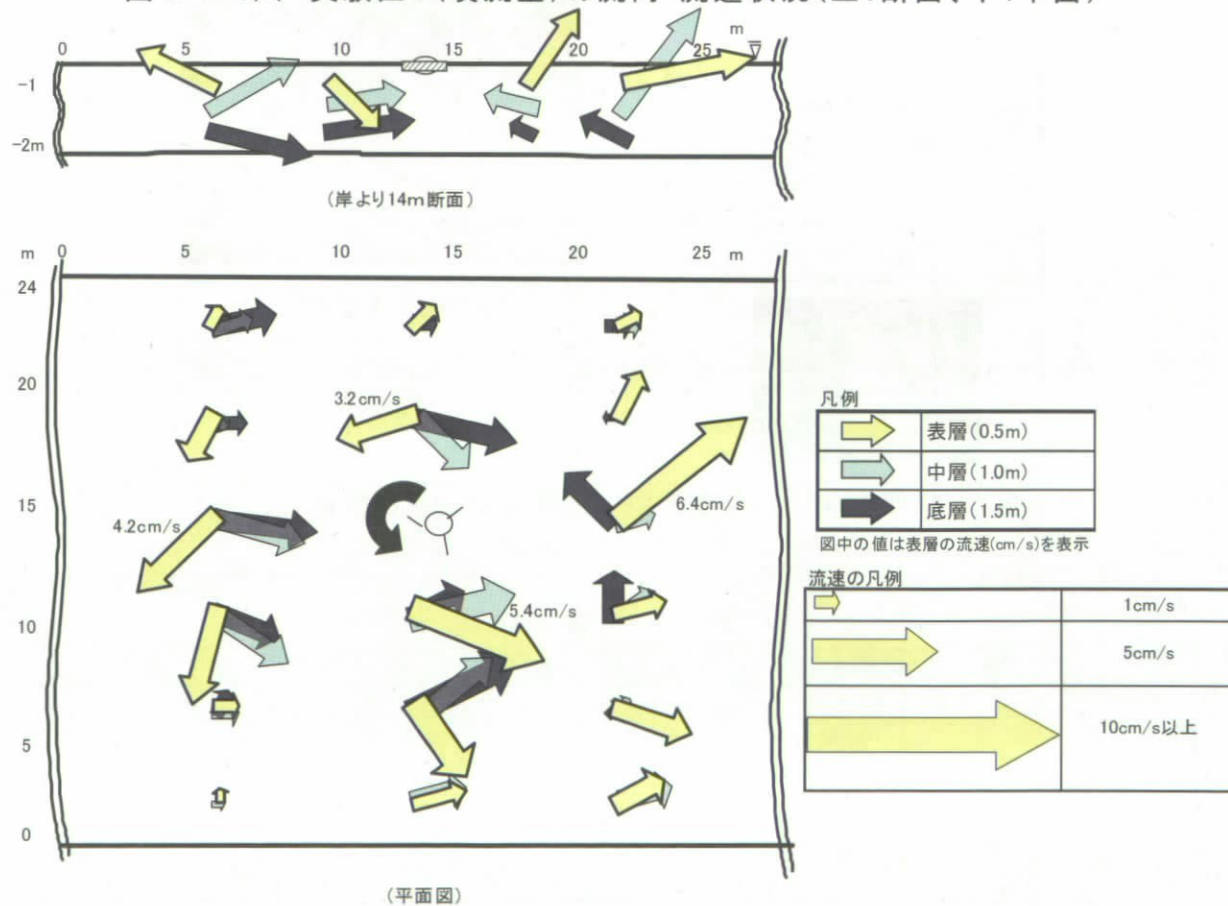


図 3-1-1(2) 実験区2(湧昇型)の流向・流速状況(上:断面、下:平面)

表 3-1-1 装置による湖流の特徴

装置	湖流の特徴
噴流型 (実験区 1)	・噴射方向に広範囲にわたって大きな流れが形成されており、底層でも流れが形成されていた ・壁部および岸付近では、跳ね返りによる流れの干渉、乱れが生じていた ・装置後方においても緩やかな流れが形成されていた ・噴流前方では、10cm/s以上の流速がみられるが、噴流側方や後方では1cm/s程度の遅い流速となっていた
湧昇型 (実験区 2)	・羽の回転方向に合わせて、表層水は外向きの、底層水は内向きの流れが観測された ・噴流型に比べ流速は小さいが、ヨシ帯付近を除けば広範囲にむらなく流れが形成されていた ・水域全体で5cm/s程度の流速がほとんどであった

3.2 実験水域の状況

6月末より認められたヒシの繁茂については、隔離水塊のみではなく、木浜水路全域で確認されていた。2号水路(実験水域の 200m ほど南に存在)で確認されたヒシの繁茂状況および同日の実験区2における繁茂状況を図 3-2-1 に示す。この撮影日には、実験水域では水面を覆うほどのヒシの繁茂はみられなかったが、その後8月ごろからは、ヒシの繁茂が進行していた。(8月水質調査日の状況を図 3-2-1 に示す。)

また、平成 15 年にみられたホテイアオイの繁茂はほとんど確認されなかった。

気象は降水量は、5月、8月、10 月で平年値より高い値がみられた。8月や 10 月については、平成 16 年に 10 個上陸した台風による影響である。一方、7月は雨量の少ない月であった。年間でみると、平均降水量より 170mm ほど多い雨量を観測していた。

日照時間については、8月は雨の日が多く平均値よりも短い時間であったが、2月、6月、7月等は平均値よりかなり長い時間を記録していた。年間でみても、平均値より 170 時間ほど長い日照時間を記録していた。

平均気温については、すべての月でほとんど平均値並であった。年間でみてもほぼ同じ平均気温であった。



2号水路

(撮影平成 16 年 7 月 15 日)



実験区2(7月)

(撮影平成 16 年 7 月 15 日)



実験区2(8月)

(撮影平成 16 年 8 月 16 日)

図 3-2-1 ヒシの繁茂状況

4. 現地調査

装置による湖流の創出状況や、その湖流による効果について把握するため、実験区および対照区において、表 4-1 に示す調査を実施した。

表 4-1 現地調査の概要(平成 16 年度)

項目	調査事項	調査実施日
水質	DO、濁度等の濃度分布状況 代表地点でCOD、窒素、リン、 プランクトン量等	平成 16 年 5 月 24 日 平成 16 年 7 月 8 日 平成 16 年 8 月 16 日 平成 16 年 10 月 12 日 平成 16 年 12 月 8 日
	DO、濁度等の 24 時間変動	平成 16 年 9 月 9 日
底質	窒素、リン等の汚濁状況、 底生生物等	平成 16 年 8 月 16 日 平成 16 年 12 月 8 日
臭気	特定悪臭物質濃度と官能試験	平成 16 年 9 月 13 日
植生	抽水、沈水、浮遊、浮葉植生分布状況	平成 16 年 5 月 31 日～6 月 1 日 平成 16 年 8 月 27 日～9 月 4 日 (沈水植物はヒシ繁茂のため 10 月 4 日) 平成 16 年 11 月 25 日～12 月 8 日
生物	シジミによる生育状況	畜養ケース回収日 平成 16 年 5 月 29 日 平成 16 年 9 月 2 日 平成 16 年 12 月 2 日

各項目別の調査内容と結果を以降に述べる。

4.1 水質

4.1.1 調査内容

調査は、装置の設置位置等を踏まえて、水平方向に図 4-1-1 のとおり調査地点を設定した。さらに、設定した各調査地点において、鉛直方向に3地点(表層、中層、底層等)で、表 4-1-1 に示す項目について調査し、装置による効果を把握した。

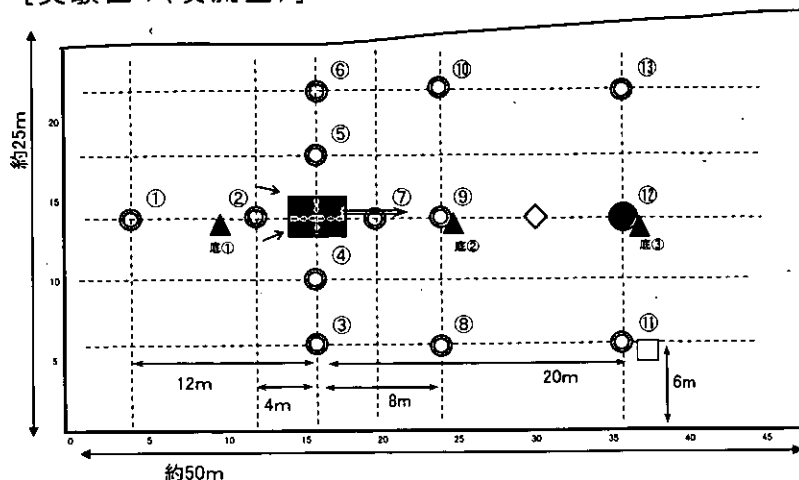
また、9月の別日において、時間ごとの水質変動の把握のため、代表地点での2時間ごとの水質を測定した。

調査日程は表 4-1 に示すとおり、現地測定と代表地点での採水分析を5回、24 時間調査を1回実施した。

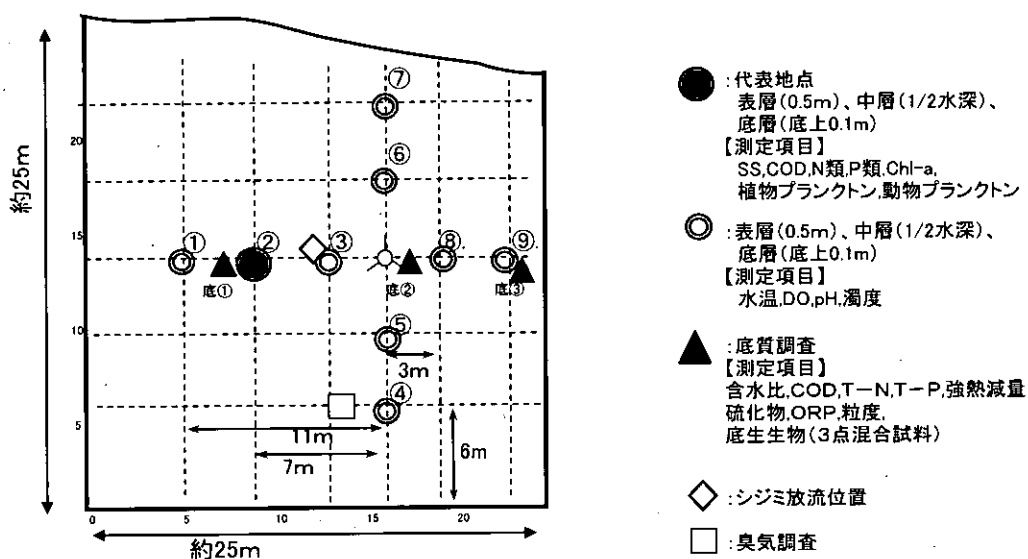
表 4-1-1 水質調査項目

区分	測定項目
全地点で調査 (センサーを使用して現地測定)	水温、溶存酸素、pH、濁度
代表地点でのみ調査 (採水して分析・同定)	SS、COD、T-N、T-P、クロロフィルa、フェオフィチン、NH ₄ -N、NO ₂ -N、 NO ₃ -N、PO ₄ -P、植物プランクトン、動物プランクトン

[実験区1(噴流型)]



[実験区2(湧昇型)]



[対照区]

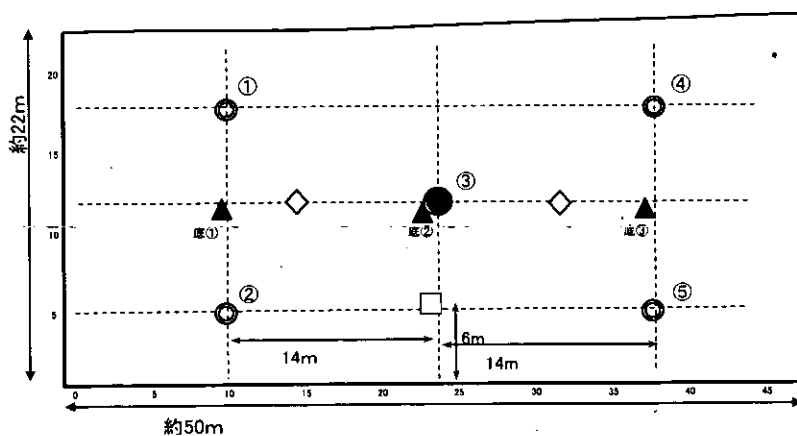


図 4-1-1 水質調査、底質調査、臭気調査および生物調査の調査地点

4.1.2 調査結果

(1) 現地測定結果

湖流を発生させていない対照区では、DOが底層で減少していることや、濁度が表層に比べ中層や底層で高くなる特徴がみられた。

①pH

大きなばらつきはみられないが、7月における対照区の表層や中層で、7.5 以上と他より高い結果がみられた。これは、光合成による炭酸同化の影響とみられる。その他の月では、全体において大きな差はみられなかった。

②DO

代表地点における変化を図 4-1-2 に示す。対照区の底層において、貧酸素の状態がほとんどの月でみられるが、実験区ではそのような状態はみられなかった。

8月の調査においては、全体的にDOが低いものであった。この8月でも、対照区では表層に比べて、底層でのDOの低下(かなり無酸素に近い状態である)がみられた。

③濁度

対照区に比べ実験区1や実験区2の方が値が大きくなっていた。

代表地点における変化を図 4-1-2 に示す。5月や7月の対照区をみると、層により大きなばらつきがみられた。

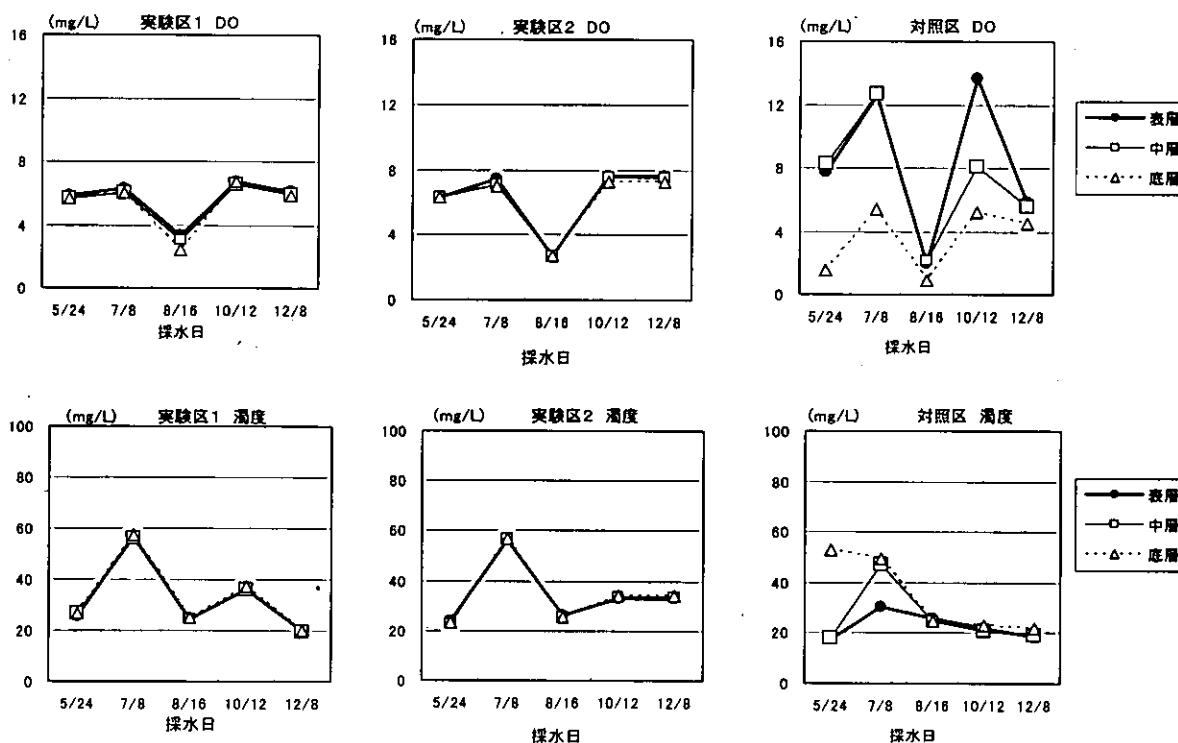


図 4-1-2 代表地点における現地測定結果

(2) 採水分析結果

実験区1や実験区2については、ほとんど層別の違いはみられなかった。対照区においては、5月や7月、10月の結果で、表層に比べ中層や底層においてSS、COD、T-N、T-P、Chl-a等が高い値であった。特に、7月の対照区中層では、その差が顕著に表れていた。

①SS

図 4-1-3 に経時変化を示す。実験区1や実験区2については、3層とも近い値を示しており、湖流による混合がおこっていたと考えられる。混合後は底質の攪乱により、対照区と比べると値はやや高めである。対照区の中層、底層では、プランクトン増殖の影響等の理由で他の層に比べて高い値を示すことがあった。

②COD

図 4-1-3 に経時変化を示す。実験区1と実験区2については、3層についてほぼ同じ値で推移していた。7月や10月の対照区の結果をみると、中層で極端に高い値が観測された。

③T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N

図 4-1-3 にT-Nの経時変化を示す。7月や10月の対照区の結果をみると、中層で極端に高い値が観測された。

表 4-1-2 に窒素の形態別測定結果とT-N中の構成比の一覧を示す。全体的には実験区と対照区における大きな違いはみられなかった。T-Nの高かった7月における対照区の中層では、NH₄-Nの値が0.01mg/Lと極端に低くなっており、プランクトンの発生にNH₄-Nが使用されたと考えられる。

④T-P、PO₄-P

図 4-1-3 にT-Pの経時変化を示す。7月の対照区の結果をみると、中層で他の層に比べ高い値を示した。その他の日については、対照区と実験区における差や層別における差はほとんどみられなかった。

表 4-1-3 にリンの形態別測定結果とT-P中の構成比の一覧を示す。T-Pの高かった7月における対照区の中層では、逆にPO₄-Pが低いものであった。これより、無機性のリンが植物プランクトンに取り込まれ、有機性のリンへと変わっていったと考えられる。

⑤クロロフィルa

図 4-1-3 に経時変化を示す。7月の対照区の結果をみると、中層で773μg/Lというとても高い値を示した。これは植物プランクトンの増殖によるものであり、10月の調査でも対照区の中層で高い値がみられた。

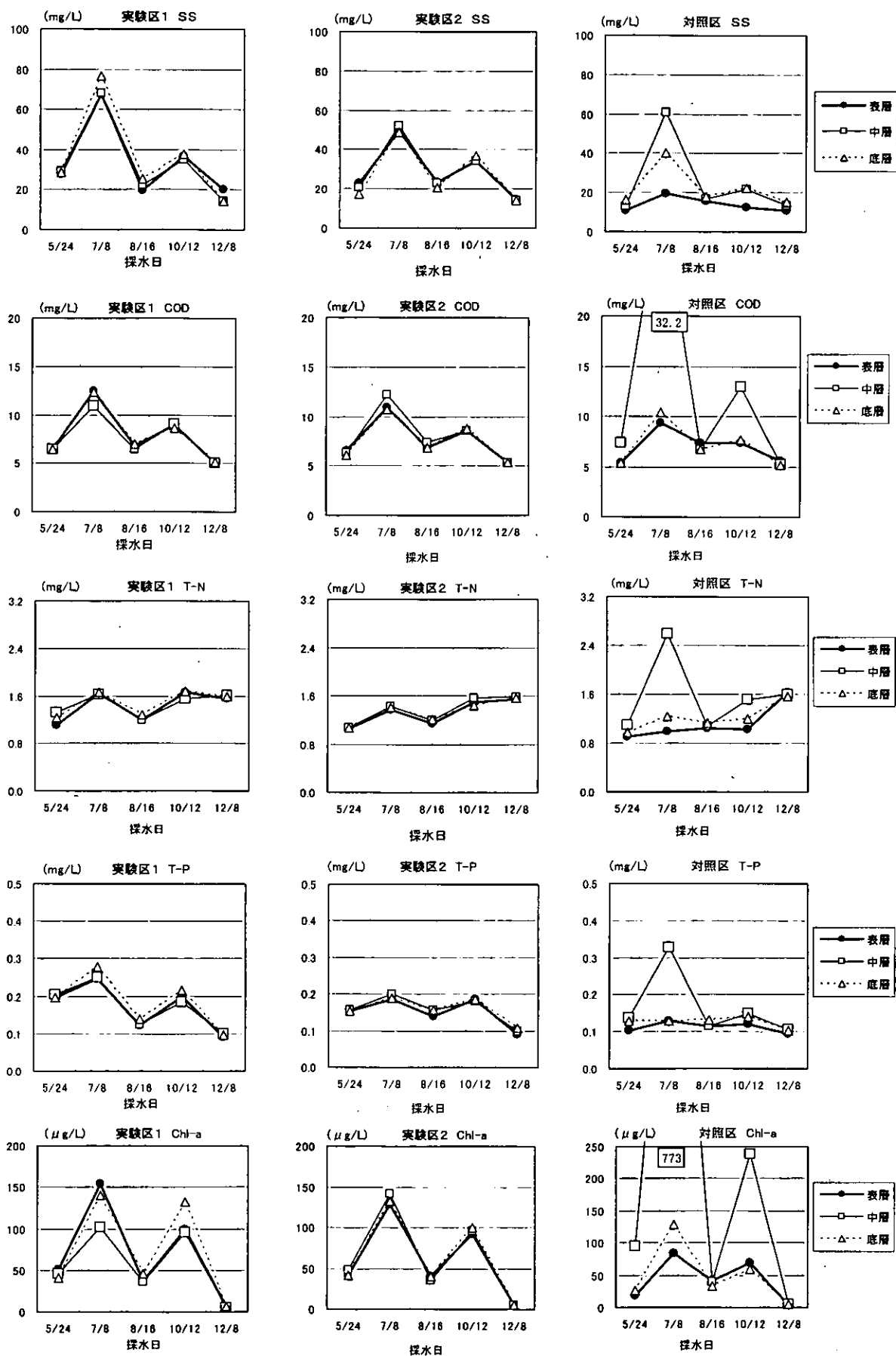


図 4-1-3 代表地点における採水分析結果

表 4-1-2 窒素形態別測定結果とT-N中の構成比

項目	採水日	平均採水水深	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
			表層 0.5m	中層 0.8m	底層 1.5m	表層 0.5m	中層 0.8m	底層 1.5m	表層 0.5m	中層 0.8m	底層 1.5m
T-N	5月24日	(mg/L)	1.11	1.32	1.23	1.06	1.07	1.07	0.91	1.09	0.97
	7月8日		1.64	1.63	1.67	1.38	1.42	1.41	1.00	2.60	1.23
	8月16日		1.19	1.20	1.28	1.14	1.20	1.22	1.04	1.08	1.13
	10月12日		1.66	1.55	1.68	1.50	1.57	1.44	1.02	1.51	1.20
	12月8日		1.56	1.61	1.59	1.55	1.58	1.57	1.63	1.60	1.56
NH ₄ -N	5月24日	(mg/L)	0.20	0.22	0.18	0.17	0.20	0.17	0.15	0.20	0.17
		T-N中の構成率(%)	18	17	15	16	19	16	16	18	18
	7月8日	(mg/L)	0.16	0.24	0.20	0.10	0.13	0.13	0.11	0.01	0.21
		T-N中の構成率(%)	10	15	12	7	9	9	11	0	17
	8月16日	(mg/L)	0.18	0.18	0.21	0.21	0.23	0.24	0.19	0.20	0.25
		T-N中の構成率(%)	15	15	16	18	19	20	18	19	22
	10月12日	(mg/L)	0.50	0.52	0.53	0.44	0.43	0.44	0.20	0.40	0.34
		T-N中の構成率(%)	30	34	32	29	27	31	20	26	28
	12月8日	(mg/L)	0.38	0.37	0.38	0.34	0.34	0.36	0.31	0.29	0.32
		T-N中の構成率(%)	24	23	24	22	22	23	19	18	21
NO ₂ -N	5月24日	(mg/L)	0.025	0.024	0.023	0.022	0.023	0.022	0.023	0.027	0.027
		T-N中の構成率(%)	2	2	2	2	2	2	3	2	3
	7月8日	(mg/L)	0.040	0.040	0.041	0.038	0.038	0.036	0.022	0.023	0.024
		T-N中の構成率(%)	2	2	2	3	3	3	2	1	2
	8月16日	(mg/L)	0.019	0.017	0.018	0.012	0.012	0.011	0.010	0.009	0.011
		T-N中の構成率(%)	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	10月12日	(mg/L)	0.042	0.042	0.042	0.044	0.045	0.044	0.044	0.040	0.043
		T-N中の構成率(%)	3	3	3	3	3	3	4	3	4
	12月8日	(mg/L)	0.026	0.027	0.027	0.029	0.029	0.028	0.032	0.027	0.026
		T-N中の構成率(%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NO ₃ -N	5月24日	(mg/L)	0.50	0.51	0.51	0.46	0.50	0.45	0.46	0.31	0.43
		T-N中の構成率(%)	45	39	41	43	47	42	51	28	44
	7月8日	(mg/L)	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.20	0.16	0.21
		T-N中の構成率(%)	19	18	18	22	21	20	20	6	17
	8月16日	(mg/L)	0.46	0.46	0.46	0.36	0.36	0.37	0.27	0.29	0.29
		T-N中の構成率(%)	39	38	36	32	30	30	26	27	26
	10月12日	(mg/L)	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.51	0.42	0.52
		T-N中の構成率(%)	31	34	32	35	34	37	50	28	43
	12月8日	(mg/L)	0.65	0.67	0.64	0.65	0.66	0.65	0.74	0.66	0.65
		T-N中の構成率(%)	42	42	40	42	42	41	45	41	42

表 4-1-3 リン形態別測定結果とT-P中の構成比

項目	採水日	平均採水水深	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
			表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層
			0.5m	0.8m	1.5m	0.5m	0.8m	1.5m	0.5m	0.8m	1.5m
T-P	5月24日	(mg/L)	0.196	0.205	0.197	0.153	0.157	0.155	0.104	0.138	0.130
	7月8日		0.246	0.251	0.279	0.187	0.200	0.190	0.129	0.327	0.129
	8月16日		0.122	0.125	0.140	0.139	0.158	0.158	0.114	0.114	0.133
	10月12日		0.200	0.184	0.215	0.187	0.181	0.187	0.120	0.148	0.142
	12月8日		0.092	0.099	0.097	0.090	0.099	0.107	0.095	0.107	0.104
PO ₄ -P	5月24日	(mg/L)	0.009	0.008	0.005	0.009	0.004	0.004	0.002	0.006	0.004
		T-P中の構成率(%)	5	4	3	6	3	3	2	4	3
	7月8日	(mg/L)	0.025	0.028	0.025	0.013	0.018	0.018	0.018	0.010	0.007
		T-P中の構成率(%)	10	11	9	7	9	9	14	3	5
	8月16日	(mg/L)	0.031	0.030	0.029	0.019	0.035	0.029	0.019	0.024	0.031
		T-P中の構成率(%)	25	24	21	14	22	18	17	21	23
	10月12日	(mg/L)	0.010	0.011	0.011	0.010	0.014	0.015	0.009	0.007	0.013
		T-P中の構成率(%)	5	6	5	5	8	8	8	5	9
	12月8日	(mg/L)	0.038	0.035	0.044	0.025	0.031	0.032	0.040	0.041	0.031
		T-P中の構成率(%)	41	35	45	28	31	30	42	38	30

⑥植物プランクトン

図 4-1-4 に種類数の変化、図 4-1-5 に総細胞数の変化を示す。

実験区1や実験区2については層別の差があまりみられないが、対照区では5月や7月、10月に中層で総細胞数が多くなる等の差がみられた。この対照区で異常増殖したプランクトンは、クリプト藻綱 Cryptomonadaceae(5月、7月)および黄色鞭毛藻綱 Ochromonadaceae(10月)であった。

8月の調査においては、他の月に比べて種数が多くみられた。

12月の調査では、すべての水域で植物プランクトンの種類や総細胞数がかかなり減少した。

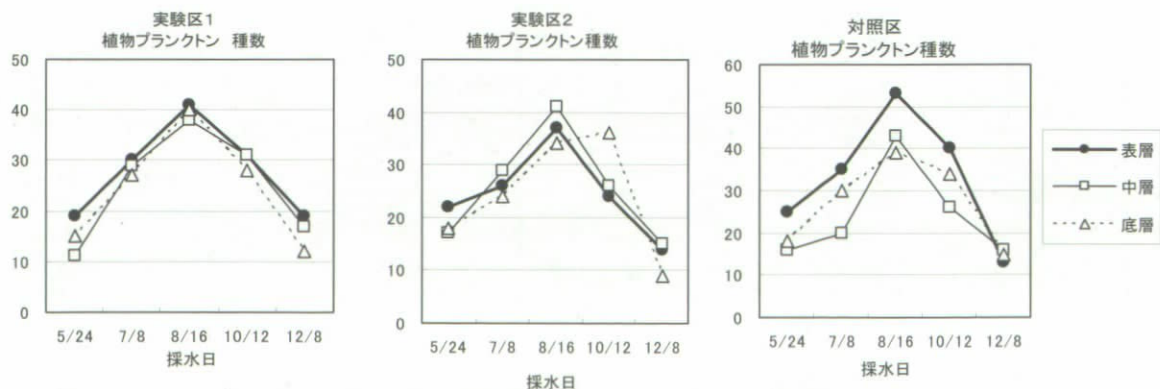


図 4-1-4 植物プランクトンの種類数変化

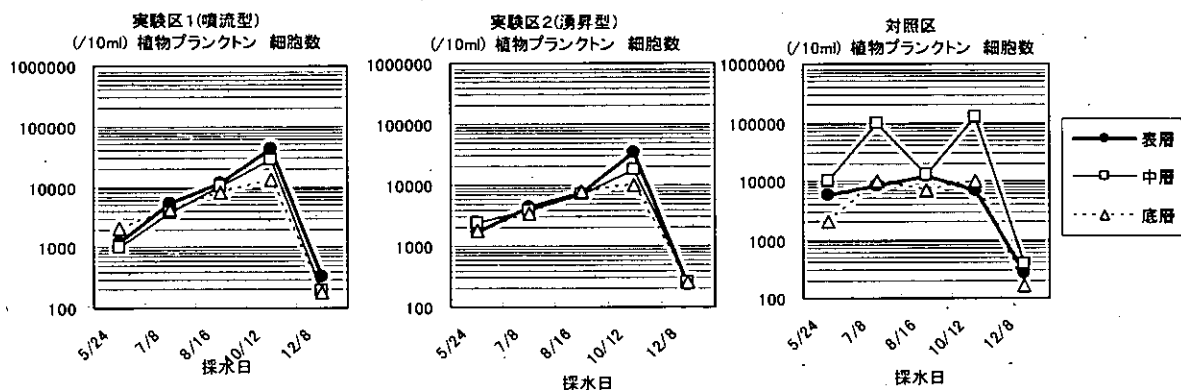


図 4-1-5 植物プランクトンの細胞数変化

⑦動物プランクトン

図 4-1-6 に種類数の変化、図 4-1-7 に総個体数の変化を示す。

植物プランクトンの種数変化や総細胞数変化に似た動きが動物プランクトンにもみられる。7月調査の対照区では、中層で植物プランクトンの異常増殖がみられるが、動物プランクトンは中層よりも底層で繊毛虫綱 *Tintinnopsis lacustris* の増殖がみられた。

また、8月以降は対照区の底層で動物プランクトン数の減少がみられた。

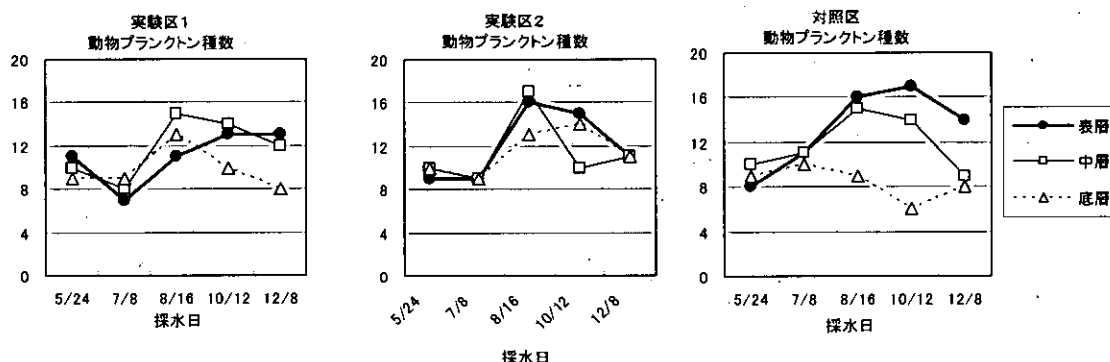


図 4-1-6 動物プランクトンの種類数変化

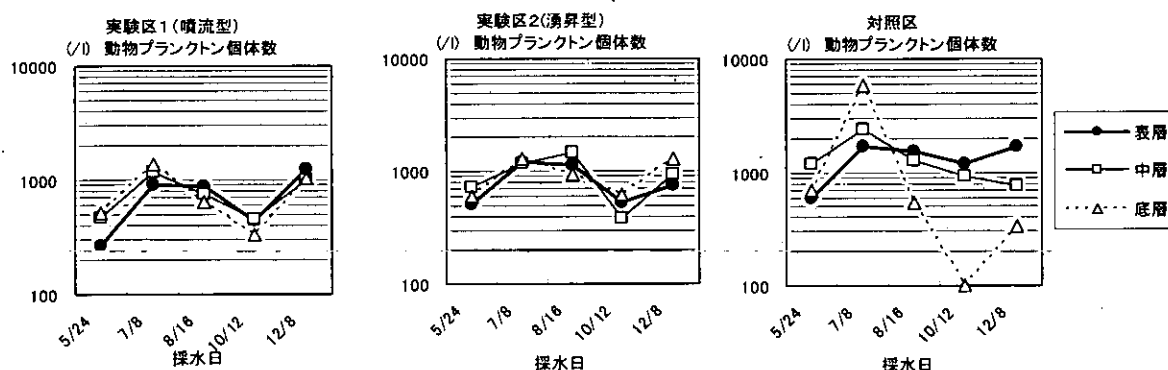


図 4-1-7 動物プランクトンの個体数変化

(3) 24 時間水質変動調査結果(9月9日～9月 10 日実施)

表 4-1-4 に水質変動の値を示す。

全体的にみて、実験区1や実験区2では、湖流創出の影響により底層の貧酸素化の回避や濁質成分の沈降の抑制が行われていることが確認できた。

濁度の結果は、対照区の底層において PM5:00 から AM3:00 にかけて高くなっていた。

また、DOの結果は顕著に表れており、対照区の表層(0.1m)で午後3時に 10.9mg/L と酸素過飽和状態となっているが、同時間の底層(1.4m)では 1.6mg/L と非常に低い値であった。

対照区の底層においては、DOの値が 0.9～2.6mg/L と 24 時間をとおして貧酸素の状態であった。

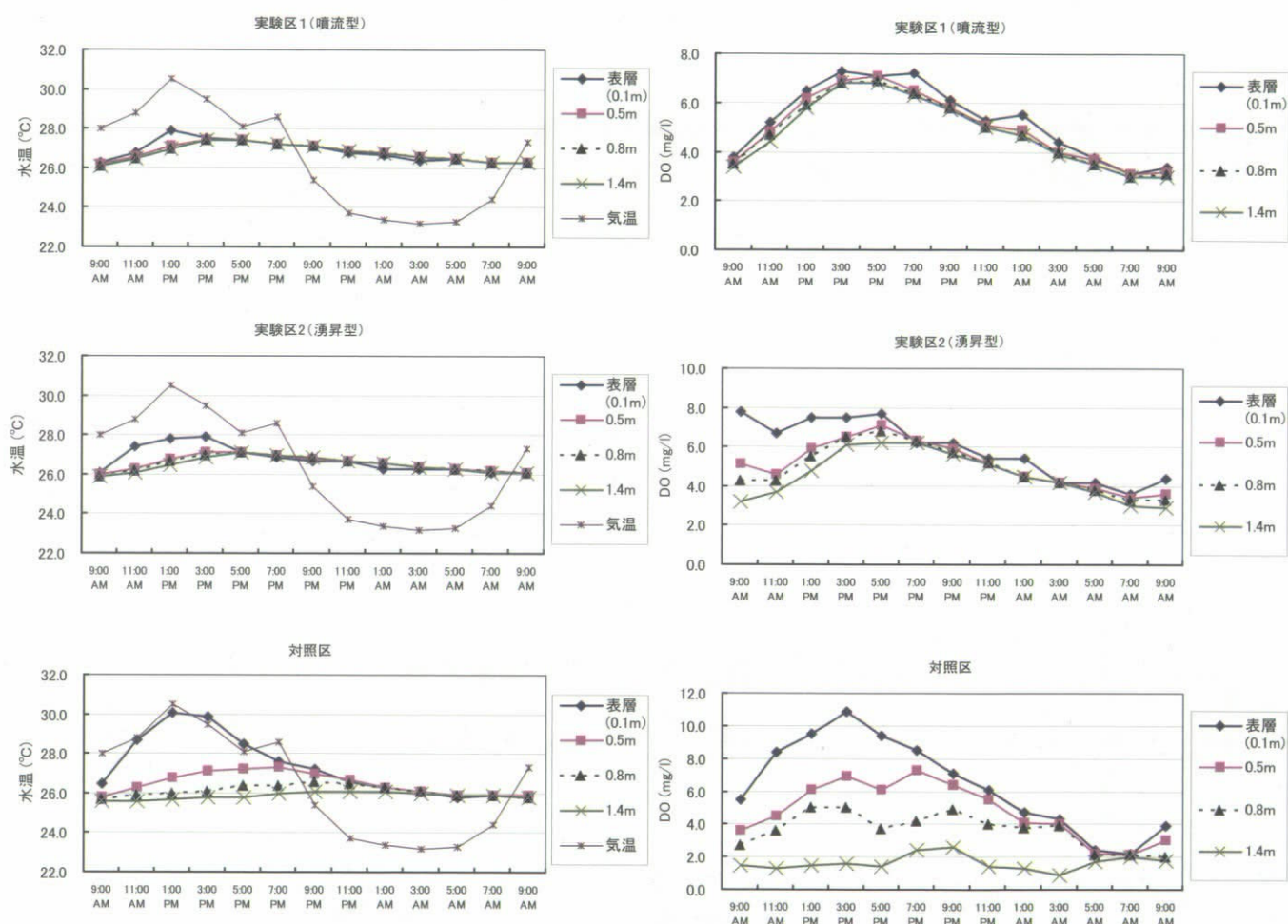


図 4-1-8 水質 24 時間調査の結果 (水温、DO)

調査日:平成 16 年 9 月 9 日～10 日

4.2 底質

4.2.1 調査内容

調査は、装置の設置位置等を踏まえて、図 4-1-1 のとおり水平方向に調査地点を 3 地点設定した。各調査地点において底質を採取し、表 4-2-1 に示す底質性状について分析を行う他、底生生物の同定および個体数の計測を行い、湖流創出による底質改善効果を検討した。

調査は表 4-1 に示す日程で2回実施した。

表 4-2-1 底質調査項目

種別	測定項目
性状	含水比, COD, T-N, T-P, 強熱減量, 硫化物, ORP, 粒度
その他	底生生物

4.2.2 調査結果

(1) 底性分析

表 4-2-2 に底性分析の結果を示す。底質は全体的に還元性有機汚濁泥であった。また、8月と12月採取の差はほとんどみられなかった。

実験区1の底②試料(噴流部の前で採取)は、噴流の影響により有機物の溶出や拡散が起っているとみられ、強熱減量、T-N、T-P等が低い値であった。

8月の対照区の結果では、他の実験区に比べて硫化物が多く検出されており、底層の貧酸素化による影響とみられる。

また、対照区ではT-Pが他の実験区に比べて低い値であった。この原因としては、嫌気性となった底層で底質からのリンの溶出がおこり、ヒシ等への吸収が進んだ可能性がある。

表 4-2-2 底性分析結果

		採取日 平成16年8月16日								
項目	単位	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
		底①	底②	底③	底①	底②	底③	底①	底②	底③
含水比	%	150	76	150	140	140	140	140	150	190
COD _{sed}	mg/g(dry)	59	31	53	54	51	57	50	56	51
T-N	mg/kg(dry)	4000	2200	4000	4300	3400	4200	3700	4100	4100
T-P	mg/kg(dry)	4500	1400	4100	4300	4500	5000	3400	3800	3500
強熱減量	%	12	7.8	12	11	10	11	10	11	11
硫化物	mg/g	0.32	0.28	0.66	0.24	0.33	0.42	0.67	0.62	0.74
ORP	mV	-198	-156	-223	-195	-230	-209	-225	-211	-211

		採取日 平成16年12月 8日								
項目	単位	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
		底①	底②	底③	底①	底②	底③	底①	底②	底③
含水比	%	180	100	160	160	150	150	160	180	170
COD _{sed}	mg/g(dry)	57	24	58	54	52	51	59	52	54
T-N	mg/kg(dry)	4300	1800	4000	4000	3800	3600	4100	3900	4000
T-P	mg/kg(dry)	4200	950	4500	4600	4300	4300	3900	3600	3900
強熱減量	%	12	7.5	11	11	11	10	12	11	11
硫化物	mg/g	0.54	0.26	0.35	0.48	0.45	0.68	0.51	0.50	0.44
ORP	mV	-172	-118	-210	-190	-157	-164	-185	-177	-168

(2) 底生生物

表 4-2-3 に底生生物の結果を示す。確認された種は、ほとんどがイトミミズであった。

8月の結果をみると、実験区1や実験区2に比べ、対照区では出現数が半分以下であった。

12月の結果では、出現種、個体数ともほとんど差はみられなかった。

表 4-2-3 底生生物結果

平成16年8月16日 運転開始後2回目						(単位:個体数/1875cm ²)		
No.	門名	綱名	目名	科名	和名	学名	実1	実2 対照
1	海綿動物	普通海綿	ザラカイメン(単管海綿)	タンシカイメン	タンシカイメン科の一種	Spongiidae sp.		4
2	環形動物	ミミズ(貧毛)	ナガミミズ	イトミミズ	ユリミミズ属の一種	Limnodrilus sp.	16	21 2
3					イトミミズ科の数種	Tubificidae spp.	193	221 72
4	節足動物	昆虫	ハエ(双翅)	ユスリカ	ミミズ綱の卵包	Oligochaeta sp.	1	
5					アカムシユスリカ	Propillocerus akamusi	2	
6					エリユスリカ亜科の一種	Orthocladinae sp.		1
7					ハモンユスリカ属の一種	Polypodium sp.	3	
8					ユスリカ亜科の数種	Chironominae spp.		10
9					ユスリカ科(鱗)	Chironomidae sp.		2
10			トビケラ	ヒメトビケラ	ヒメトビケラ属の一種	Hydroptila sp.		2
11	触手動物	コケムシ	塊聚	ヒメテンコケムシ	オトヒメトビケラ属の一種	Oxyethira sp.	1	
					カンテンコケムシ	Asajirella gelatinosa		6 1
4門4綱5目5科11種						種類数	5	4 8
						個体数	213	251 94

備考

1	節足動物	昆虫	トビケラ(毛翅)	ヒメトビケラ	ヒメトビケラ属の一種(果のみ)	Hydroptila sp.		1 1
2					オトヒメトビケラ属の一種(果のみ)	Oxyethira sp.		1

備考

①タンシカイメン科は芽球が確認された。

②カンテンコケムシは体芽が確認された。

平成16年12月8日 運転開始後3回目						(単位:個体数/1875cm ²)		
No.	門名	綱名	目名	科名	和名	学名	実1	実2 対照
1	環形動物	ミミズ(貧毛)	ナガミミズ	ミズミミズ	エラオイミズミミズ属の一種	Branchiodrilus sp.	1	1
2				イトミミズ	ユリミミズ属の一種	Limnodrilus sp.	51	51 30
3					イトミミズ科の数種	Tubificidae spp.	134	118 158
4	節足動物	昆虫	トンボ(蜻蛉)	トンボ	ミミズ綱の卵包	Oligochaeta sp.	7	13 17
5					コフキトンボ	Deilephaga	1	
6			トビケラ(毛翅)	ヒメトビケラ	ヒメトビケラ属の一種(鱗)	Hydroptila sp.		1
7			ハエ(双翅)	ユスリカ	ユスリカ属の一種	Chironomus sp.	8	6 11
8					ユスリカ亜科の数種	Chironominae spp.	5	1 1
9	触手動物	コケムシ	塊聚	ヒメテンコケムシ	カンテンコケムシ	Asajirella gelatinosa	3	7 3
10					オオマリコケムシ	Pectinatella magnifica	1	2 3
4門4綱5目7科16種						種類数	8	8 9
						個体数	210	199 225

備考

1	節足動物	昆虫	トビケラ(毛翅)	ヒメトビケラ	ヒメトビケラ属の一種(果のみ)	Hydroptila sp.		2 3
2					オトヒメトビケラ属の一種(果のみ)	Oxyethira sp.	2	4

備考

①コケムシ綱は体芽が確認された。

4.3 臭気調査

4.3.1 調査内容

湖流創出による水質等の改善、生物の異常増殖の抑制等に伴い、水面上から発生する臭気の抑制効果を把握するため、臭気調査を実施した。

調査は、装置の設置位置等を踏まえて、図 4-1-1 の各区水面上の採取地点の空気をポンプにて吸引し採取した。分析項目は、表 4-3-1 に示すとおり「悪臭防止法」(昭和 46 年、法律第 91 号)に基づく特定悪臭物質のすべてと、人間の感覚による臭気指数(官能試験)を対象とし、その濃度等を測定した。

調査は表 4-1 に示す日程で夏季に1回実施した。

表 4-3-1 臭気測定項目等

特定悪臭物質	アンモニア	スチレン
	トリメチルアミン	プロピオン酸
	メチルメルカプタン	ノルマル酪酸
	硫化水素	ノルマル吉草酸
	硫化メチル	イソ吉草酸
	二硫化メチル	アセトアルデヒド
	トルエン	プロピオンアルデヒド
	キシレン	ノルマルブチルアルデヒド
	酢酸エチル	イソブチルアルデヒド
	メチルイソブチルケトン	ノルマルバレールアルデヒド
	イソブタノール	イソバレールアルデヒド
官能試験（臭気指数・臭気濃度）		

4.3.2 調査結果

悪臭の調査結果を表 4-3-2 に示す。調査の結果、一部の特定悪臭物質が検出された。大部分がにおいを感知できない濃度であったが、硫化水素、アセトアルデヒドでは一部認知閾値濃度を上回り、臭気指数検知の臭因となっている可能性がある。

表 4-3-2 悪臭調査結果

項 目	実験区 1 (噴流型)	実験区 2 (湧昇型)	対照区	(参考) 認知閾値濃度
アンモニア (ppm)	0.13	0.18	0.18	0.60
硫化水素 (ppm)	0.0086	0.0087	0.0056	0.0060
アセトアルデヒド (ppm)	0.007	0.035	0.019	0.010
イソブチルアルデヒド (ppm)	0.003	0.008	0.006	0.008
臭気指数	16	19	18	10～15
臭気濃度	40	79	63	10～31

注 1：上記以外の特定悪臭物質は、すべて「ND」であった。

注 2：認知閾値濃度とは「何のにおいであるかわかる弱いにおい」の濃度を示す。

4.4 植生調査

4.4.1 調査内容

湖流創出による植物異常繁茂の抑制効果を把握するため、各区の抽水、沈水、浮遊、浮葉植物を対象に植生の分布状況と生育密度を調査し、繁茂状況を把握した。

調査は表 4-1 に示す日程で、春・夏・秋の 3 回実施した。

4.4.2 調査結果

調査範囲においては、表 4-4-1 に示すとおり、浮遊植物としてホテイアオイ、沈水植物としてマツモ、抽水植物としてキシウスズメノヒエ、ヨシ、マコモ、ウキヤガラ、その他湿生植物や木本類等、合計 12 群落が認められた。

植生面積の状況を表 4-4-2 に示す。沈水植物においては、実験区および対照区共に夏以降に著しい減少が認められたが、これについては、水域に繁茂したヒシによる影響と推察される。浮遊・浮葉植物においては、対照区と比べて実験区で植生面積の多い状況が認められた。

表 4-4-1 確認群落

生活形	群 落 名
沈水植物	マツモ群落
浮遊植物	ホテイアオイ群落・
抽水植物	キシュウスズメノヒエ群落
	マコモ群落
	ヨシ群落
	ウキヤガラ群落
湿生植物	シロバナサクラタデ群落
	イヌゴマ群落
木本類	ノイバラ群落
	イボタノキ
	ヤナギ群落
	セイタカアワダチソウ群落

表 4-4-2 植生面積の状況

区分	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
抽水植物 (陸生含む)m ²	571.5 (104)	571.4 (104)	553.8 (97)	308.9 (103)	289.1 (96)	284.8 (94)	873.0 (101)	924.5 (107)	885.2 (102)
沈水植物 m ²	23.1 (23)	1.0 (1)	0.0 (0)	37.5 (66)	2.0 (4)	0.0 (0)	117.5 (60)	3.0 (2)	0.0 (0)
浮遊・浮葉 植物 %	0.7	70.9	0.3	3.1	85.2	<0.1	2.5	59.4	1.1

注1：浮遊植物については、実験開始前に除去が行われている。

注2：表中の（ ）内は、運転開始前（平成15年12月）を100%とした割合を示す。

4.5 生物調査

4.5.1 調査内容

生物の生息環境改善効果を把握するため、指標生物としてシジミを沈め、生存率を調査した。調査は装置の設置位置等を踏まえて、図 4-1-1 の各区湖底にシジミが入ったケースを一定期間沈め、期間終了時に取り出して生存個体および致死個体を計測をした。各区につき2ケース沈め、1ケースに入れるシジミの個体数は70個体とし、2ケースで140個体とした。用いた個体は、遺伝子の攪乱防止等を考慮して、滋賀県産のシジミ類とした。

調査は表 4-1 に示す日程で、シジミの生存状況を3回確認した。また、15年度から継続して沈設しているケースに加え、各区2ケースを2回追加沈設した。

4.5.2 調査結果

運転開始前を 100%とした運転開始後のシジミの生存率は、表 4-5-1 に示すとおり対照区では春から夏、夏から秋にかけて沈設した全ての個体の死滅が認められた。これに比べて実験区では、春から夏にかけては沈設した大半の個体が死滅するものの、夏から秋では半数以上の個体が残存し、対照区に比べて生存率は高いものであった。

表 4-5-1 シジミの生存率(2箇所合計)

ケース回収日	実験区1(噴流型)			実験区2(湧昇型)			対照区		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
H16.5.29	10	100	-	15	100	-	6	100	-
H16.9.2	-	25	100	-	31	100	-	0	100
H16.12.9	-	15	67	-	23	69	-	-	0

注1:①は平成 15 年 12 月 16 日、②は平成 16 年 6 月 10 日、③は平成 16 年 9 月 6 日に沈設した。

5. まとめ

5.1 水質への効果について

湖流の創出により、以下に示す効果が得られたと考えられる。

- ①植物プランクトンの異常増殖を抑えることができた。1月是对照区底層で、5月、7月、10月是对照区中層で植物プランクトンが大増殖して、3層(表層・中層・底層)の総細胞数合計値も実験区に比べて対照区で多いものであった。この植物プランクトン異常増殖抑制により、湖流の創出がアオコや淡水赤潮等の抑制に効果があると考えられる。
- ②水質が水平・垂直方向に均質化された。水温が 20℃以上と高い5月、7月、10月(ヒシの繁茂が確認されている8月を除く)では、対照区のDOが表層で高く、底層で低いという状態が確認できた。湖流の創出は、成層化を解消し、24 時間にわたり水域全体に水質を均質にする効果を得ている。このことは、アオコの発生原因とされる水温成層の発生を防止したり、理想的な食物連鎖の促進のために必要とされる底層への酸素供給を行っていると言える。
- ③COD等の異常上昇の回避ができた。プランクトンの大増殖が確認されている7月の対照区中層では、COD32mg/L と実験区の 12mg/L 程度に対して大きな値を記録した(Chl-a も同様に高い値を示している)。この対照区でのプランクトン増殖が原因とみられる水質の値上昇は、T-NやT-Pでもみられる。湖流創出による効果により、実験区ではCOD等が異常に高い値になることを抑制していると言える。

5.2 底質への効果について

湖流の発生により、底層における溶存酸素の不足時における底泥中の有機物の嫌気性分解を抑制でき、悪臭や水質汚濁の原因を防ぐことができると考えられる。

湖流創出による効果は、1年間を通じてみると確認できなかった。しかし、8月の実験区では、対照区に比べ硫化物が低くなっていたことや、イトミミズが多く繁殖することがあり、湖流による効果の可能性を示すものであった。

5.3 臭気改善効果について

アセトアルデヒド、イソブチルアルデヒドや硫化水素が実験区と対照区ともに検出された。この要因としては以下のように考えられる。

- ①アセトアルデヒドやイソブチルアルデヒドは、油脂が分解する初期段階で発生することより、ヒシ等が分解した結果と考えられる。

②硫化水素は、底層が還元状態であることから発生したことが考えられる。

今回の結果では、夏季のアセトアルデヒドの濃度は実験区2(湧昇型)で最も高くなった。

この要因としては、表層の流れにより臭気が拡散したことや、ヒシ(枯死体を含む)が採取口付近に集積したことが考えられる。これより、今回のようなヒシが繁茂した状態では、湖流による臭気改善効果を得ることは難しいと言える。

5.4 植生の繁茂抑制効果について

沈水植物については、運転開始前から開始後の春にかけては、実験区2(湧昇型)で冬から春に増加が認められたのを除き、概ねいずれの水域も減少する傾向であった。

ただし、実験区2(湧昇型)で増加が認められた冬から春にかけて、実験区1(噴流型)では減少傾向が認められており、湖流創出により沈水植物の繁茂が抑制された可能性も考えられる。

浮葉・浮遊植物については、春に出現した後、夏に最も繁茂して水面の大半を占め、その後は、実験前の秋同様に枯れて消失するのが認められた。夏の繁茂面積の割合は、実験区2(85%)、実験区1(71%)、対照区(59%)の順であった。

また、対照区に比べて実験区で割合が高くなった要因については、湖流の創出により底泥が攪拌され、泥中に埋もれていた種子が出現したことや、対照区では底層付近で貧酸素状態となっているが、実験区では湖流の創出により水域一様に酸素が供給されているため、発芽に適した環境となった可能性がある。

5.5 生物生息域への効果について

シジミの生存率は、一般的に水質が悪化する春以降では、全ての個体の死滅が認められた対照区に比べ、実験区における生存率は高いものであった。

なお、水質調査の結果によると、通常実験水域は湖底が貧酸素状態となり、底生生物の生息には適さない環境である。また、底質調査の結果から、対照区では他の区域に比べて夏の硫化物濃度が高く、毒性のある硫化水素が発生することより、底生生物の生息に影響を及ぼしていた可能性も推測される。

したがって、実験区では、対照区に比べてシジミの生息に良好な環境となっていたことが推察され、湖流創出によって生物生息環境の改善効果が得られたものと考えられる。

5.6 湖流による効果検証

実験結果についてみると、実験区1(噴流型)と実験区2(湧昇型)の差はほとんどないと判定できる。以下に湖流による効果をまとめていく。

湖流により期待される代表的な効果と問題点の比較を図 5-6-1 に示す。悪臭発生の抑制や水草の繁茂抑制は確認できず、底質の攪乱によりSSが高くなる傾向がみられた。しかし、植物プランクトンの異常増殖の抑制、底層への酸素の供給、生物の生息環境の改善に対して、湖流による効果が確認できた。

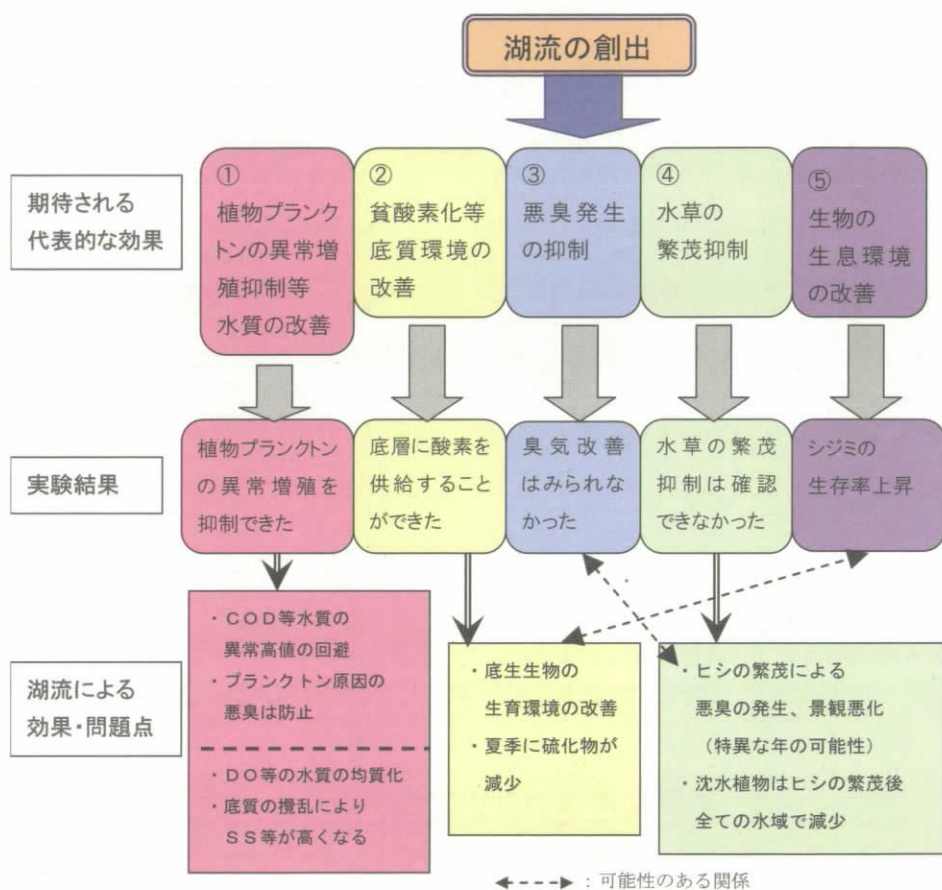


図 5-6-1 湖流により期待される効果と問題点

5.7 コスト面からの課題検討

初期コストの面でみると、湧昇型は軽量であり運搬費用等が抑えられることなどから、低コストである。一方の噴流型では、装置そのものを運搬する費用が高い他、設置にはクレーン等の機器類も必要となることから、多くのコストが必要である。

今回の実験施設においての装置稼動に係るランニングコスト概要を表 5-7-1 に示す。電力、リース費用ともに噴流型のコストが湧昇型より大幅に上回っている。

表 5-7-1 ランニングコスト概要の比較

	噴流型	湧昇型
リース費用	2,400,000円/年	240,000円/年
メンテナンス費用	610,000円/年	360,000円/年
定期メンテナンス	1 人工/月 (約30,000円/月) 吸入・噴出口の水草等除去、整備等	1 人工/月 (約30,000円/月) 駆動部分点検整備、回転範囲障害物除去等
総合メンテナンス	250,000円/年(技術料等込)	(不要)
動力(電力)費用	約240,000円/年 (基本料金含まず) 実績：263,500円/年 (基本料金込み)	約11,000円/年 (基本料金含まず) 実績：5,078円/年 (定額電灯)
消費電力量	60kWh/日 (実験中実績値 52.6～59.4kWh/日)	1.464kWh/日 (仕様値)
単独電源とした場合の契約種別	低圧電力 (約11円/kWh)	定額電灯または従量電灯 A (約20円/kWh)

また、今回の実験水域について、駆動水量 1m^3 あたりのランニングコストに換算すると、表 5-7-2 のとおり整理される。単に湖流創出という観点のみで考えると、湧昇型は噴流型の約4倍となる。

表 5-7-2 一定駆動水量あたりのランニングコスト比較

	噴流型	湧昇型
年間費用(注)	3,250,000円/年	611,000円/年
駆動水量(再掲)	$16,000\text{m}^3/\text{日}$	$12,400\text{m}^3/\text{日}$
駆動水量 1m^3 あたり ランニングコスト	0.556円	0.135円

注：表5-7-1に示した費用の単純総和で、電力費用は計算値を用いた。

以上のように、先の結果から湖流創出による総合的な効果がほぼ等しいことから考えて、今回の実験施設で比較すると、低コストである湧昇型が費用対効果が高い結果となる。

実験担当者

滋賀県湖南地域振興局建設管理部	河川砂防課	主幹	上野 邦雄
		主任技師	山田 千尋
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長		柳田 英俊
	実験センター主任研究員		有働 正人

6. 消波施設撤去がヨシ帯に及ぼす影響調査

1. 目的

本業務は、消波施設撤去後のヨシ帯の浸食状況およびヨシの生育状況を把握することにより、ヨシ帯による浸食防止効果の検証およびヨシ帯造成のために設置した消波施設の評価を行い、今後のヨシ帯復元および新たな湖岸創生手法のための条件等を考察することを目的として行うものであり、本年度はそのための基礎資料を得るため、調査に重点を置き実施した。

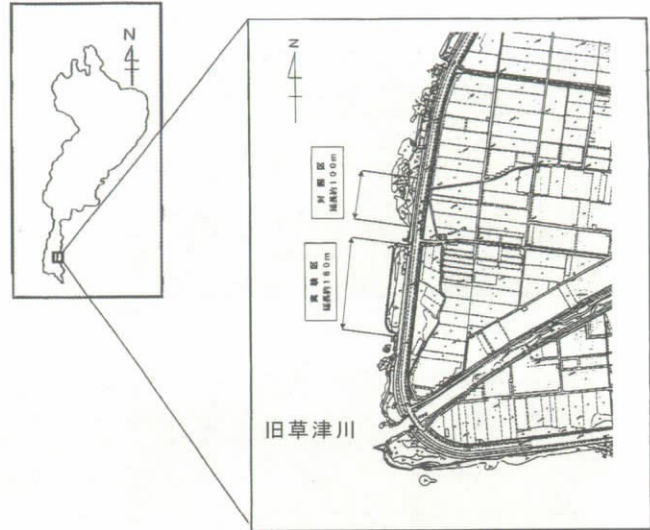


図 2-1 業務場所位置図

2. 業務概要

2.1 業務場所

滋賀県草津市下笠町地先

2.2 業務期間

平成 16 年 5 月 12 日から平成 17 年 3 月 2 日

2.3 調査項目

表 2-1 調査項目

項目	調査時期・回数	調査概要
1) 地盤高調査	春季(5月) 秋季(11月)の2回	実験区・対照区ともに横断測量・平面測量を実施。
2) ヨシ帯面積調査	5月, 8月, 11月の計3回	実験区・対照区ともにヨシ面積調査を実施。
3) 植生調査	5月, 8月, 11月の計3回	実験区・対照区ともに定点コドラート調査および群落組成調査による植生図・フロラリストの作成
4) ヨシ生長調査	春季～秋季に計4回	実験区・対照区でヨシ茎数, ヨシ最長草高, 水深を測定
5) 底質調査	6月, 8月, 10月の計3回	実験区・対照区で沖・陸地点で土壌粒度調査を実施
6) 定点撮影調査	春季～秋季に計7回	実験区・対照区の季節変化を定点撮影

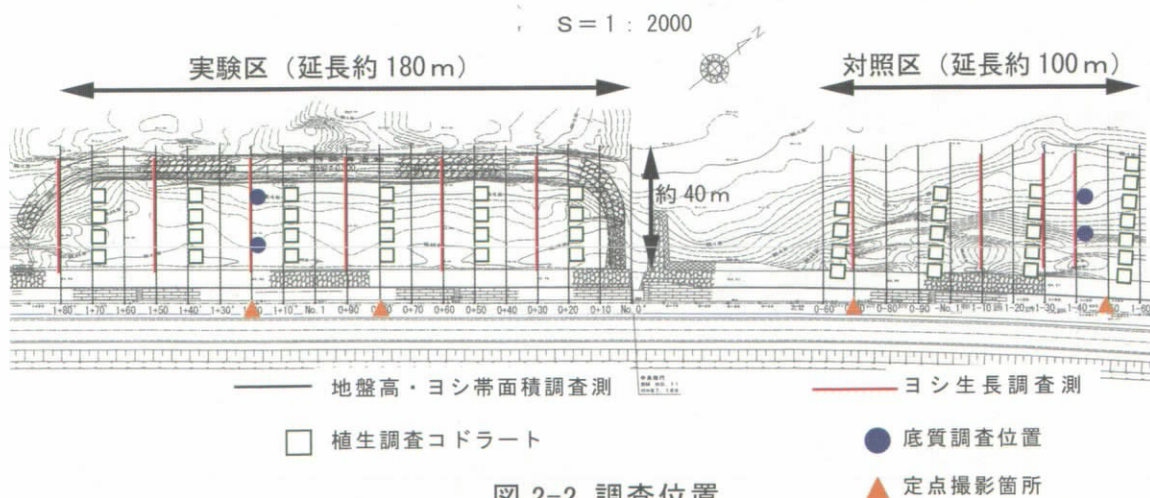


図 2-2 調査位置

3. 地盤高調査およびヨシ帯面積調査

3.1 地盤高調査

3.1.1 調査結果

2002年度から今年度にかけての地盤高および各調査間での地盤高変化を図3-1、3-2に示す。

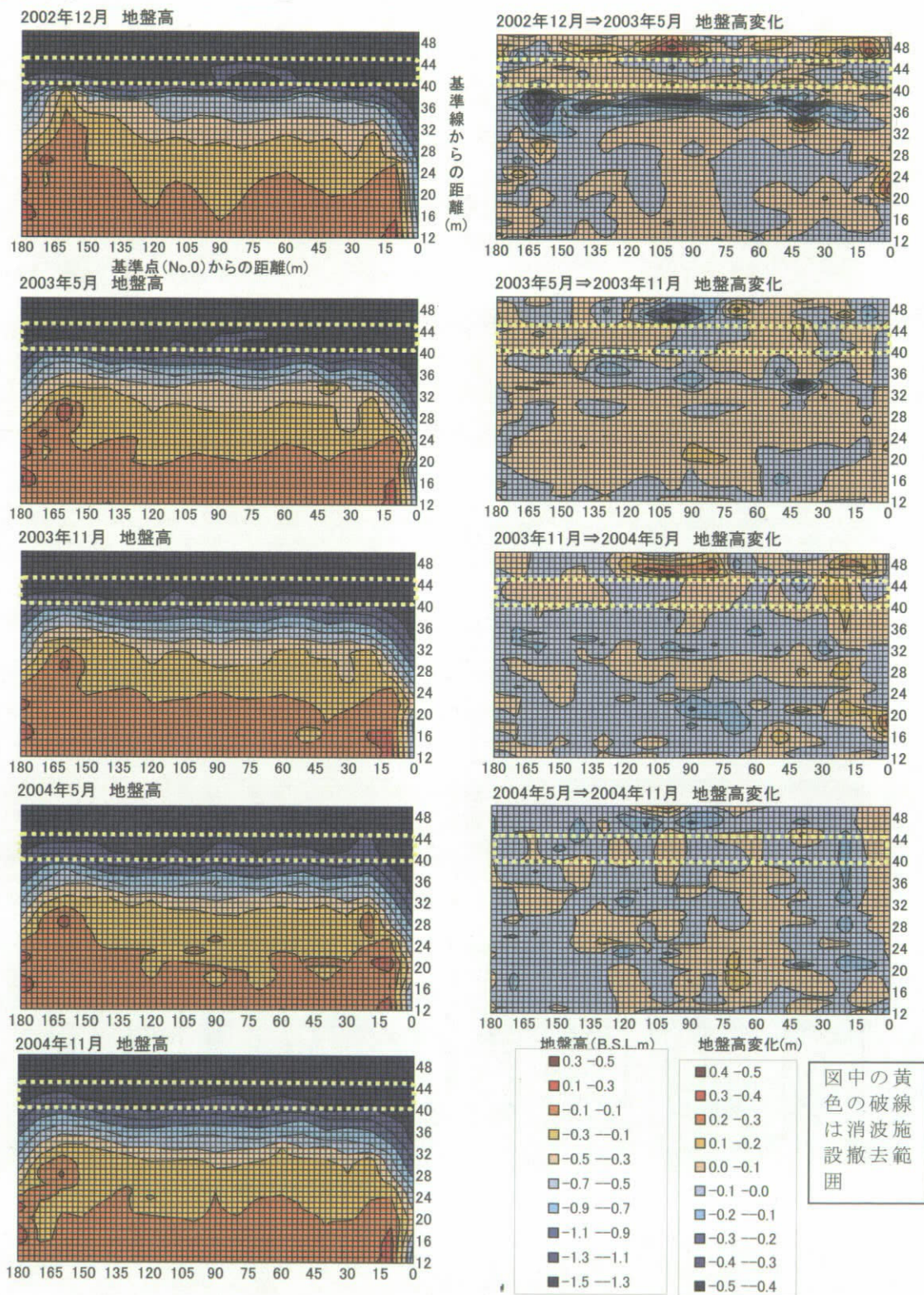


図 3-1 実験区地盤高調査結果

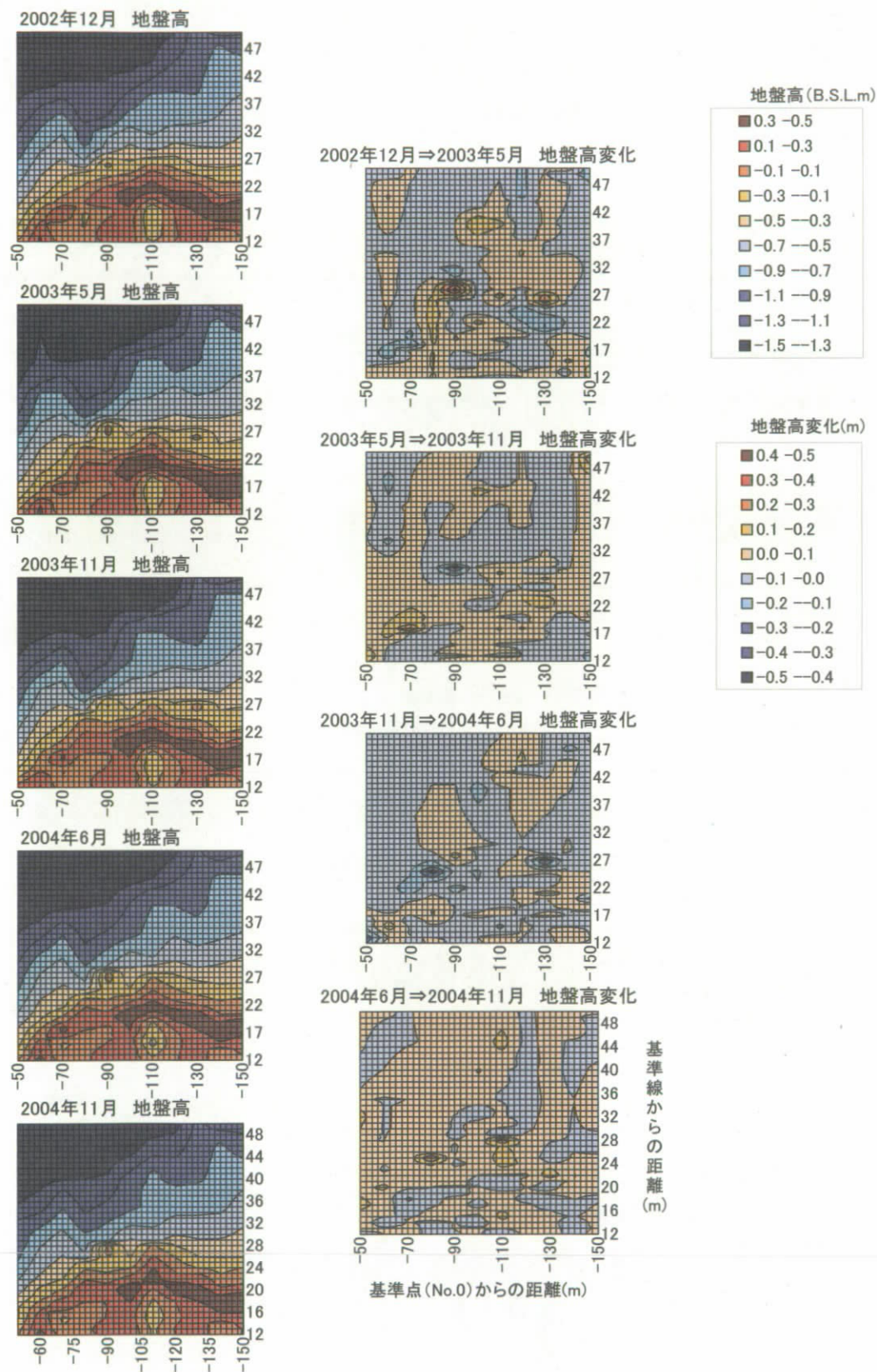


図 3-2 対照区地盤高調査結果

これを見ると、2002 年 12 月～2003 年 5 月で実験区の消波施設撤去部分付近で一部浸食が見られたが、その他の期間や対照区では、全体的におおきな地形の変化は見られなかった。

3.1.2 水位と地盤高変化との関係

調査結果では実験区で2002年12月～2003年5月にかけて消波施設撤去個所の陸側(基準線より35～40m付近)で他の地点と比べて地盤高に大きな侵食が見られた。

実験区の断面変化と水位変動および波浪との関係を図3-2に示す。

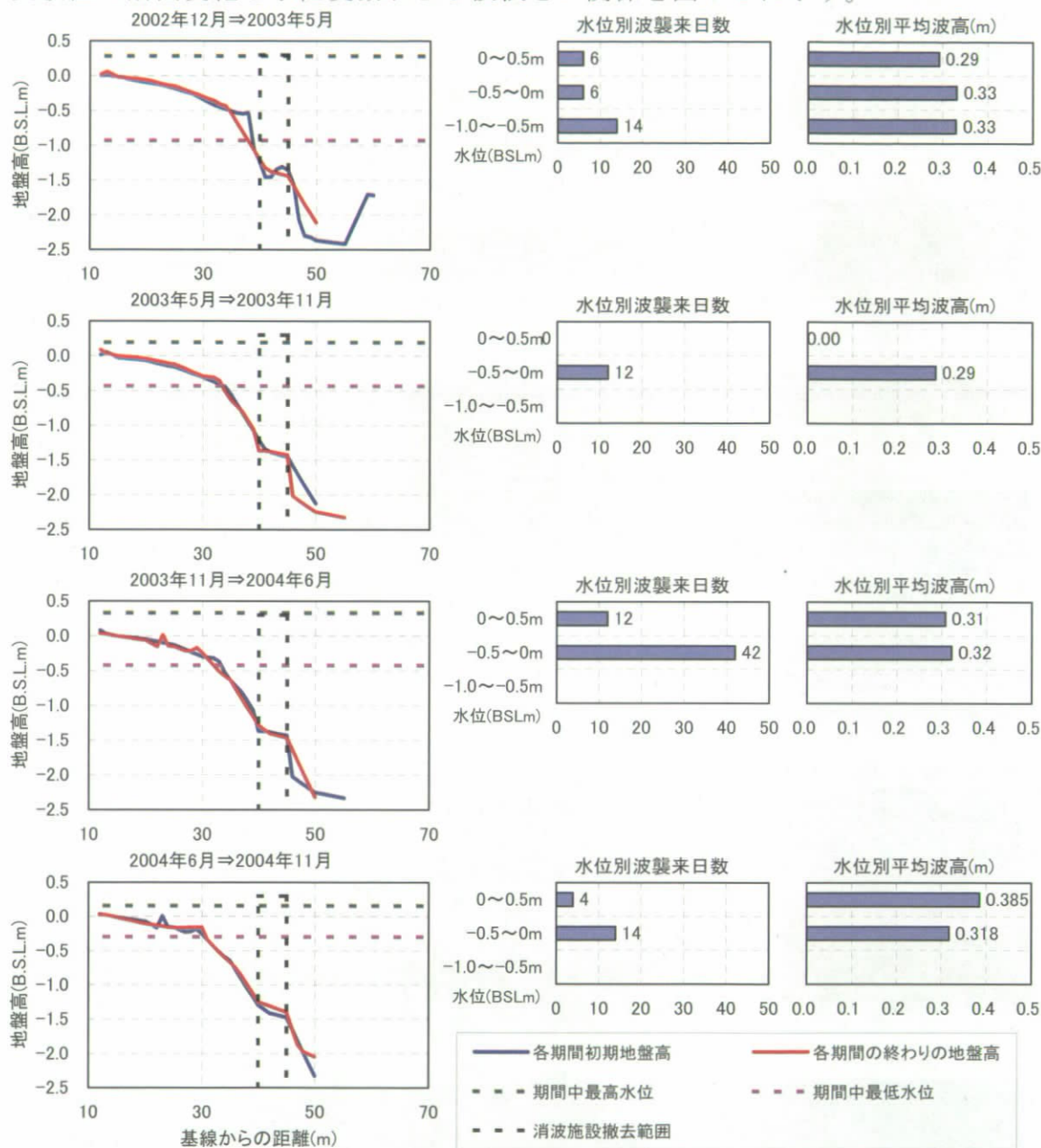


図3-3 実験区断面変化図(測線:No.0+100)

これをみると、2002年12月～2003年5月については水際線の変動範囲内に当たる部分が消波施設撤去箇所付近の陸側の地形が急勾配になっている時期と、風波の襲来日数と平均波高が最も大きい時期が重なり、そのため消波施設撤去部分付近陸側の基準線から約30～40mの範囲で大きな侵食が起こった。2003年5月以降については、全体的には地形に大きな変化は見られなかった。特に2003年11月～2004年6月の期間は、大きな侵食が見られた前年度より、波の襲来日数が多いにもかかわらず、地盤高の大きな変化は見られていない。これについては、地盤がある程度安定してきたことや、水位が昨年度より高く水際線の変動範囲内に当たる部分が、勾配が急になっている部分より陸側の勾配が緩やかな範囲であったことなどが影響していると考えられる。

3.1.3 地盤高および浸食堆積量の関係について

図 3-4 に示すように実験区および対照区の各測線上の測量基準線から 12m 地点（石積が入らないように）より沖側に 1m 間隔で設定した各点について、各調査期間の初期地盤高（各調査期間の期間初めの測定時の地盤高）とその期間中での地盤高変化との関係について調べ、マイナス変化を浸食、プラス変化を堆積として整理した。各地点の地盤高は各測線の測量調査結果を線形補間して求めた。

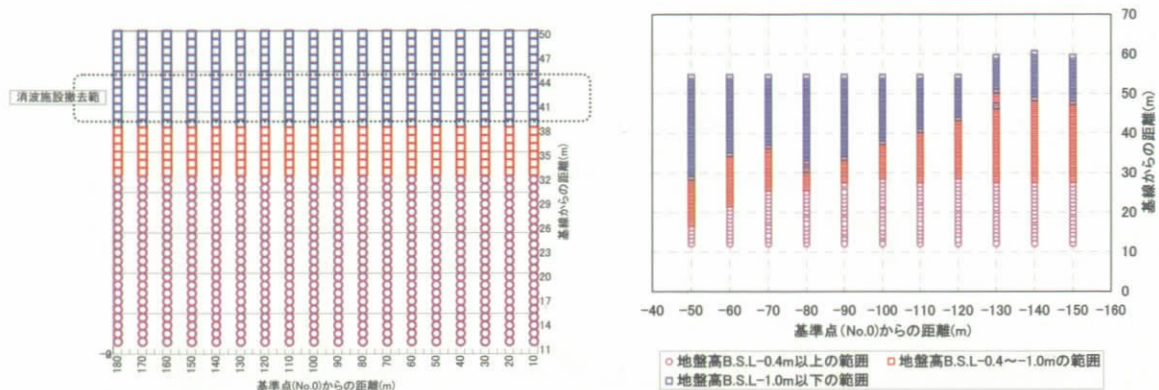


図 3-4 浸食堆積検討図凡例

各図の凡例は、図 3-4 に示す通りである。実験区については撤去直後の地形変化から、消波施設撤去範囲陸側で大きな地形変化があったことを考慮し、①実験区陸側（測量基準線から 12～32m の範囲、地盤高は概ね B. S. L. -0.4m 以上）、②消波施設撤去範囲陸側（基準線から 33～38m の範囲、地盤高は概ね B. S. L. -0.4～-1.0m）、③消波施設撤去範囲および沖側（基準線から 39m 以上の範囲、地盤高は概ね B. S. L. -1.0m 以上）の各範囲毎に、各調査期間における実験区の地盤高と浸食堆積量の関係をプロットした。また、対照区については、比較対照のため上記の各範囲と同等の地盤高別に地盤高と浸食堆積量の関係をプロットした。

結果を図 3-5 に示す（図 3-4 の位置の色と図 3-5 のグラフのプロットの色は対応）。これを見ると、2002 年 12 月～2003 年 5 月では水際線の移動範囲である地盤高 B. S. L. -0.94～+0.28 の範囲で 0.2m 以上の浸食が見られる個

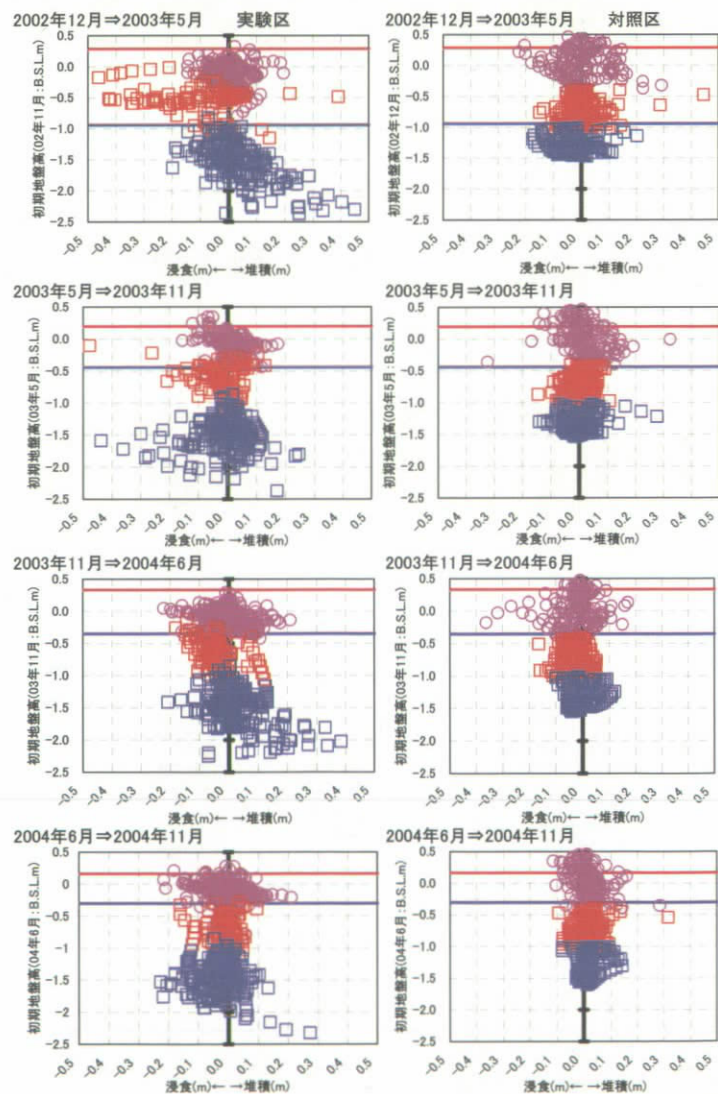


図 3-5 各期間の地盤高と侵食堆積との関係

所があり、特に風が強い期間(2002年12月～2003年1月)にかけて水際であった地盤高 B.S.L. -0.42～-0.98m の範囲では浸食された個所数、量とも他の範囲と比べて多かった。これら浸食個所については、位置的に消波施設撤去箇所沖側である基線から 36～40m の範囲(図中の凡例が青色の方形の箇所)およびそれに隣接する基線から 31～35m の範囲(図中の凡例が水色の方形の箇所)の地点が多いことから、消波施設撤去と水位および風波の影響によるものと考えられる。

一方、2003年11月～2004年6月では、昨年度に見られたような消波施設撤去箇所付近での 0.2m を超えるような浸食地点は見られなかった。昨年度と今年度では水位が異なっているが、風が強い期間に水際であった箇所でも大きな浸食は見られないことから、昨年度と比べて今年度では地盤が安定してきていると考えられる。沖側では昨年度に見られたような堆積地点が見られたが、これは消波施設撤去時に台船を通すために行った浚渫箇所に土砂が堆積してきたためであると考えられる。

対照区の各地点の地盤高と侵食堆積との関係みると、調査期間前半の 2002 年 12 月～2003 年 5 月、後半の 2003 年 5 月～11 月とも、B.S.L.+0.2m～-0.5m の範囲で浸食から堆積への土砂移動がみられるものの、全体的に地盤は安定状態にあると考えられる。

3.1.4 地盤高調査まとめ

以上のことから、実験区については概ね地盤は安定してきたと考えられる。しかし、沖側の勾配が急な部分については、今後水位が低くなり波等の影響を受けやすい状況になった場合には、また変動する可能性もあると考えられる。

また対照区については、波や水位の影響により不規則に変動しているが、全体的に堆積または浸食傾向といった状態ではなく、長期的にみると安定していると考えられる。

3.2 ヨシ帯面積調査

3.2.1 地盤高変化とヨシ帯範囲との関係

実験区における、各年度の秋季から春季にかけてのヨシ帯と地盤高変化について比較したものを図 3-6 に示す。代表として No. 0+20、60、100、140 の 4 測線を用いた。これを見ると、2002 年 12 月～2003 年 5 月の期間では、測線 No. 0+140 のように地盤が浸食された範囲でヨシ帯が後退しているの箇所が確認されたが、2003 年 11 月～2004 年 5 月では、ヨシ帯沖側では大きな地盤の浸食もなく、浸食に伴うようなヨシ帯の後退も見られなかった。しかし測線 No. 0+20 のように陸側でヨシ帯が減少している箇所が見られたが、大きな浸食堆積が起こってはならず、これらの地点でのヨシの減少は地盤変化以外の要因で起こっていると考えられる。これについて現時点では確定は出来ないが、年度での水位の違いによる植生の変化や、消波施設撤去により、ゴミ等の漂流物がヨシ帯内に堆積するようになったこと等が要因として考えられる。

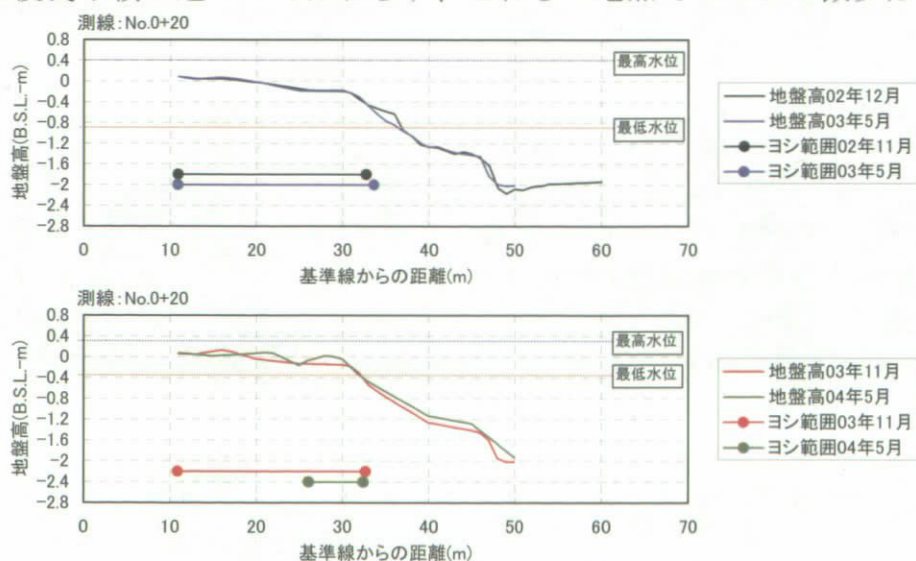


図 3-6(1) 地盤高変化とヨシ帯範囲との関係 (No.0+20)

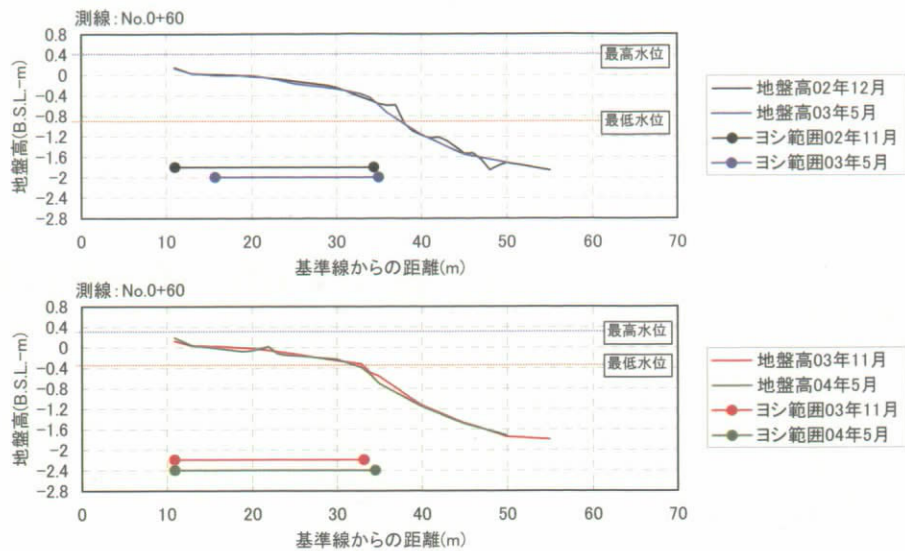


図 3-6(2) 地盤高変化とヨシ帯範囲との関係 (No.0+60)

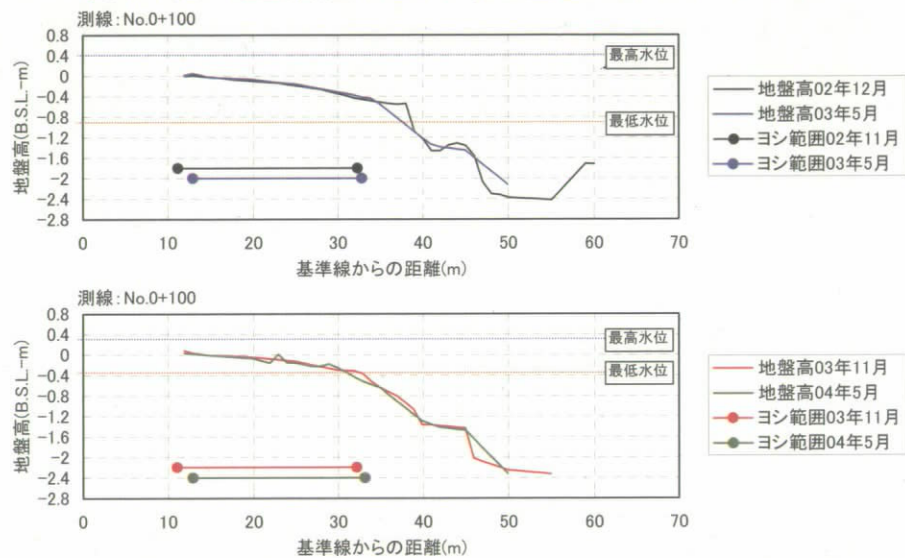


図 3-6(3) 地盤高変化とヨシ帯範囲との関係 (No.0+100)

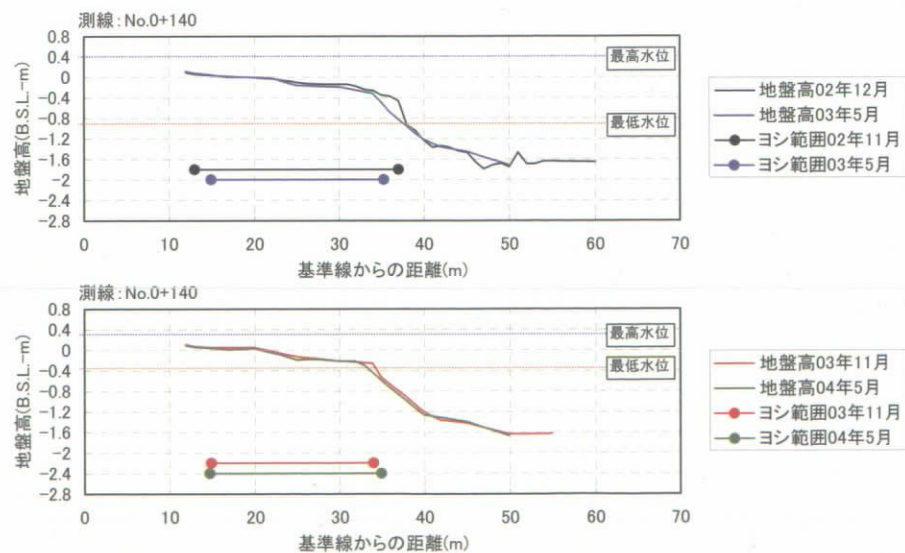


図 3-6(4) 地盤高変化とヨシ帯範囲との関係 (No.0+140)

3.2.2 ヨシ帯面積の変化

調査開始から今年度までのヨシ帯面積を図 3-7 に示す。これをみると、若干減少傾向にあるような様子が見て取れるが、それほど大きな変化はないと考えられる。特に今年度については、台風の通過等により境界付近のヨシが倒されたりして、その分面積が少なくなったと考えられる。

	2002年11月	2003年5月	2003年11月	2004年6月	2004年8月	2004年11月
実験区	3756	3614	3376	3386	3328	3261
対照区	1757	1458	1541	1552	1221	1292

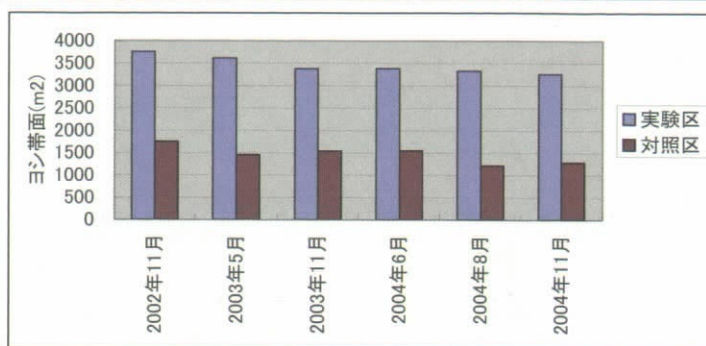


図 3-7 各調査時のヨシ帯面積

3.2.3 ヨシ帯面積調査まとめ

実験区においては、消波施設撤去直後から半年間では地盤侵食の影響により沖側の一部でヨシ帯の減少が起こった。その後から現在までのヨシ帯範囲と調査開始時のヨシ帯範囲を比較すると、一昨年度の秋季から春季にかけてみられたような地盤の侵食によるヨシ帯の後退は見られなかった。また、断面図等から浸食がヨシ帯付近で止まっている様子も見えて取れることから、実験区においてヨシによる地盤安定効果および侵食防止効果がある可能性が示唆された。

また、実験区陸側では北端の部分で、昨年度秋季と同様にヨシ帯がない部分があったが、これについては、年度での水位の違いによる植生の変化や、消波施設を撤去したことにより、ヨシ帯が直接波や漂流物の堆積等にさらされることとなったことが可能性として考えられる。

4. 植生調査

4.1 水位変動による植生への影響

琵琶湖岸に生育するヨシは、琵琶湖の水位変動の影響を受ける。特に実験区では、水位が高い場合(約 B. S. L. 0.2m)はすべての地域が水面下になり、水位が低い場合(約 B. S. L. -0.5m)はすべての地域が陸域となるため、水位変動による植生への影響は大きいと思われる。

植生調査の実施日を区切りとして、

期間 1:2003 年 11 月 27 日(昨年度秋季調査)～2004 年 5 月 19 日(今年度春季調査)

期間 2:2004 年 6 月 2 日(今年度春季調査)～2004 年 8 月 31 日(今年度夏季調査)

期間 3:2004 年 9 月 6 日(今年度夏季調査)～2004 年 11 月 24 日(今年度秋季調査)

の3期間に分けて、それぞれの期間の水位変動と期間終わりの時点での植生を図示し、水位変動が植生の変化に与える影響を考察した。

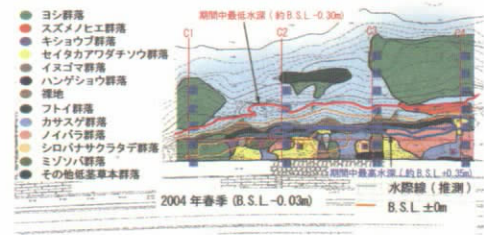
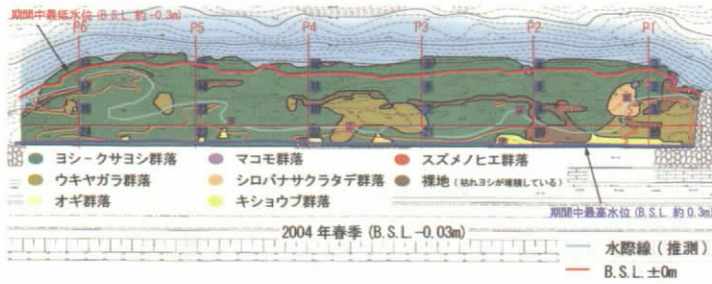
4.1.1 期間 1:2003/11/27(昨年度秋季調査)～2004/5/19(今年度春季調査)

両調査区の期間 1 における水位変動と春季植生図を図 4-1 に示す。これより実験区では植生範囲全体、対照区では陸側の植生範囲内で水位が変動していることが分かる。

このため、実験区では植生内で水際となったところで、過年度に生育していたヨシの枯れ草が堆積し、図 4-1 の裸地として枯れヨシ堆積層の帯ができた。対照区においても裸地が带状に形成されたが、実験区のように植生内には形成されなかった。これに対し、対照区では実験区の裸地の形成された地盤高では、植生がほとんど形成されておらず、琵琶湖の水位変動に適応していると考えられる。

実験区の植生内で枯れヨシの堆積のような攪乱が起こったために、ヨシやウキヤガ

ラが減少し、シロバナサクラタデのような生長の速い一年草の群落形成されたと考えられる。



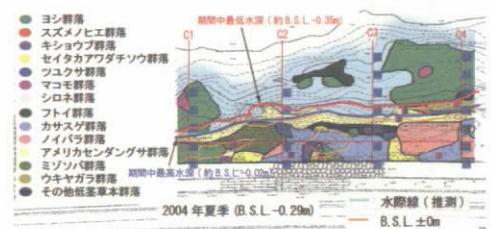
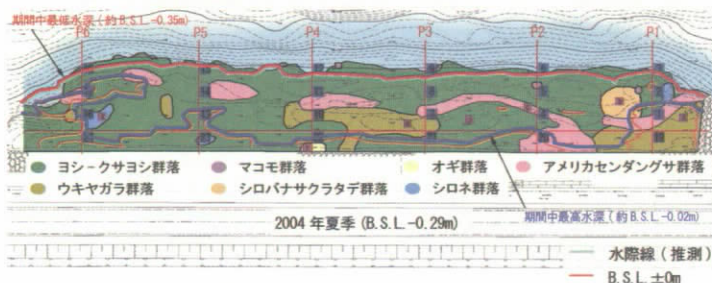
実験区

対照区

図 4-1 期間 1 の水位変動と春季植生図

4.1.2 期間 2:2004/6/2(今年度春季調査)～2004/8/31(今年度夏季調査)

両調査区の期間 2 における水位変動と夏季植生図を図 4-2 に示す。これより、実験区では期間 1 同様に植生範囲内で水位変動が起こっている。これに対して、対照区では春季に裸地であった場所の沖側の狭い範囲で水位変動が起こっており、植生範囲には影響が小さいことが分かる。スズメノヒエ群落はこの範囲内で密生していたために水位変動によるゴミの堆積などによって減少し、ウキヤガラが生育できるようになったと考えられる。



実験区

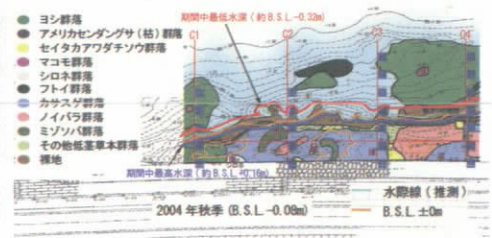
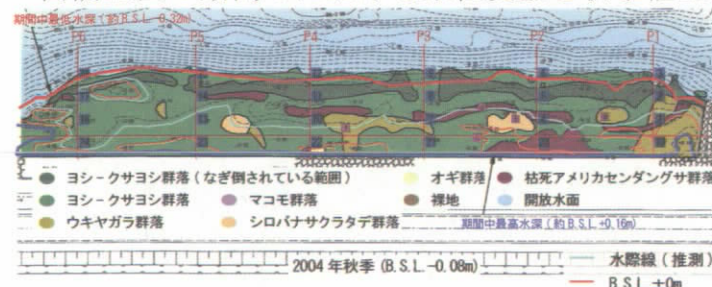
対照区

図 4-2 期間 2 の水位変動と夏季植生図

実験区では、春季に枯れヨシが堆積し高くなったため、水位変動の影響が小さくなり生長の早いアメリカセンダングサが生育したと考えられる。また、新たに形成されたシロネやシロバナサクラタデの群落は、水位変動によってヨシが減少したために個体数を増加させたと思われる。

4.1.3 期間 3:2004/9/6(今年度夏季調査)～2004/11/24(今年度秋季調査)

両調査区の期間 3 における水位変動と秋季植生図を図 4-3 に示す。



実験区

対照区

図 4-3 期間 3 の水位変動と秋季植生図

これより、実験区では期間 1、2 同様に植生範囲内で水位変動があり、10 月中旬の期間中最高水位時には沖側のヨシ草丈の 50～60cm に水面が位置したため、時期的に枯れていたヨシがなぎ倒され、図 4-3 のようなヨシのなぎ倒されている帯状の範囲が形成

されたと考えられる。その範囲の陸側でも水位変動による攪乱によって一年草のシロバナサクラタデが新たに形成されたと考えられる。

対照区では、期間 2 同様に水位変動が起こった範囲は裸地の形成されている場所だけであった。沖側では、最高水位時にはヨシ草丈の 50cm~100cm に水面が位置していたため、沖側のヨシは全体的に減少したと考えられる。

4.2 植生を構成する植物種の変化

コドラート調査によって、各コドラートにおける出現種とそれぞれの被度が分かっていることから、調査区内で出現した植物種の経年変化を調べた。図 4-4 および図 4-5 に、各調査区の 2002 年秋季調査から 2004 年秋季調査までのコドラート構成種の経年変化グラフを示す。縦軸には確認されたコドラートの個数、横軸は調査区で確認された全植物種を取り、さらに各種について被度別に色分けを行った。

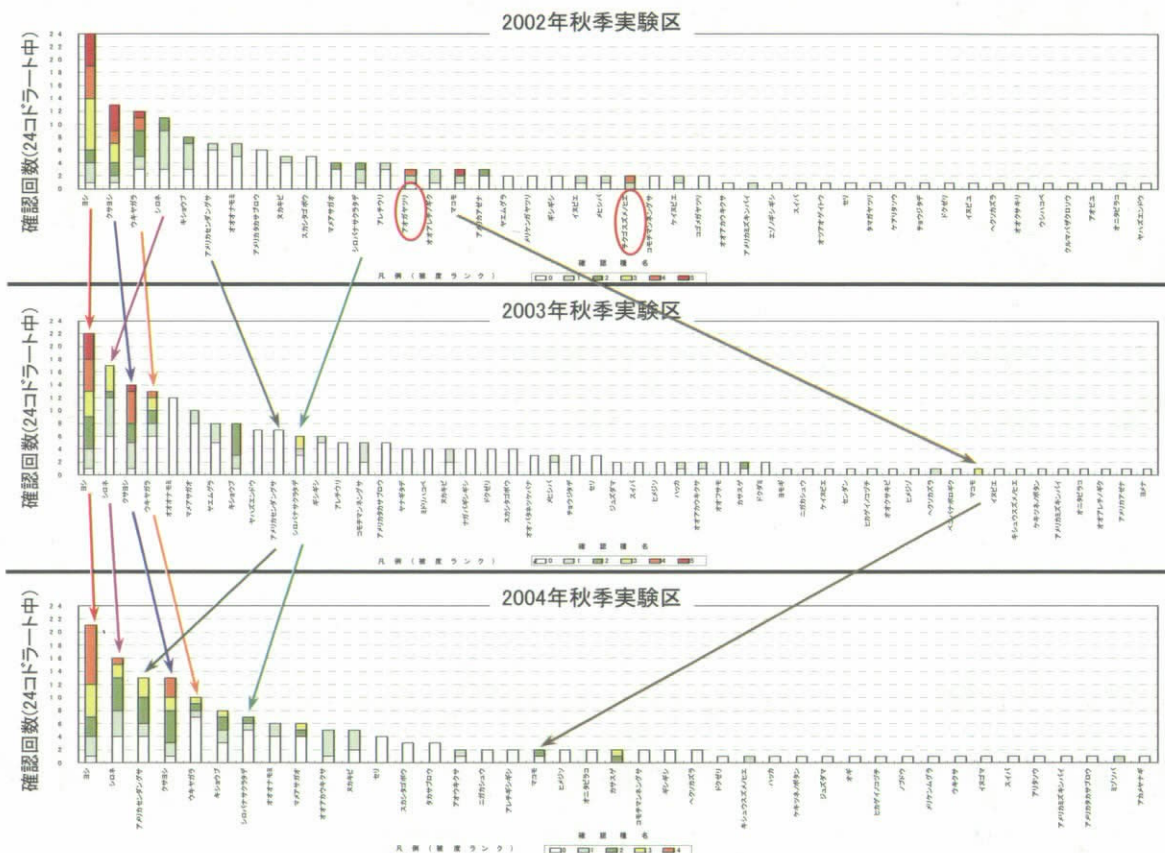


図 4-4 実験区におけるコドラート構成種の経年変化(秋季)

実験区では、ヨシ、クサヨシ、ウキヤガラ、シロネが他の種の比較して優占して生育していることが分かる。この植物種構成は大きく変化することがなく、2002 年から 2004 年にかけて大きな植生変化がなかったことが示唆された。

しかし、アメリカセンダングサおよびシロバナサクラタデは、ヨシなどの優占種と比較するとコドラート確認回数や被度が調査年ごとに変化している。これは、一年草であるこれらの群落の形成が、水位変動の項でも示した水際の移動やゴミや枯れヨシの堆積による攪乱作用に依存しているためと考えられる。つまり、攪乱の影響が大きかった場所が、コドラート位置と重なれば確認回数が増加し、そうでなければ減少することを示している。

また、図 4-4 の赤丸で示したアオガヤツリ、チクゴスズメノヒエは沖合いの平坦な湿地に群落を形成していたが、消波施設撤去後に地盤侵食により消失したため、2003 年、2004 年には出現していない。

対照区は実験区と比較して地盤高が高いため、実験区の最大地盤高である B.S.L. 0.1m 以下に位置するコドラートを抽出し、グラフを作成した。B.S.L. 0.1m 以下のコドラートは、1 年のほとんどが裸地または水面下となる地域に位置するため、出現種数および被度が小さい。これは、対照区では水位が変動する範囲の地盤高が帯状に集約されているためである。

対照区では、ヨシが 2002 年、2003 年と大きな変化がなかったが、2004 年に大きく減少した。これは、水位変動の項で示したように、水位が過年度より高くヨシがなぎ倒され、水没したことと一致する。対照区沖側のヨシは、B.S.L.-0.5m~-1m の範囲に生育しているため、例年とは異なり今年度のように秋季に水位が高くなると、切れ藻がヨシの草丈の 50cm~1m ほどに漂着するため、ヨシがなぎ倒されてしまうと考えられる。ヨシ以外の植物種は、帯状の裸地に生育しているものがほとんどであるため、調査年ごとに確認回数や被度が変化すると考えられる。

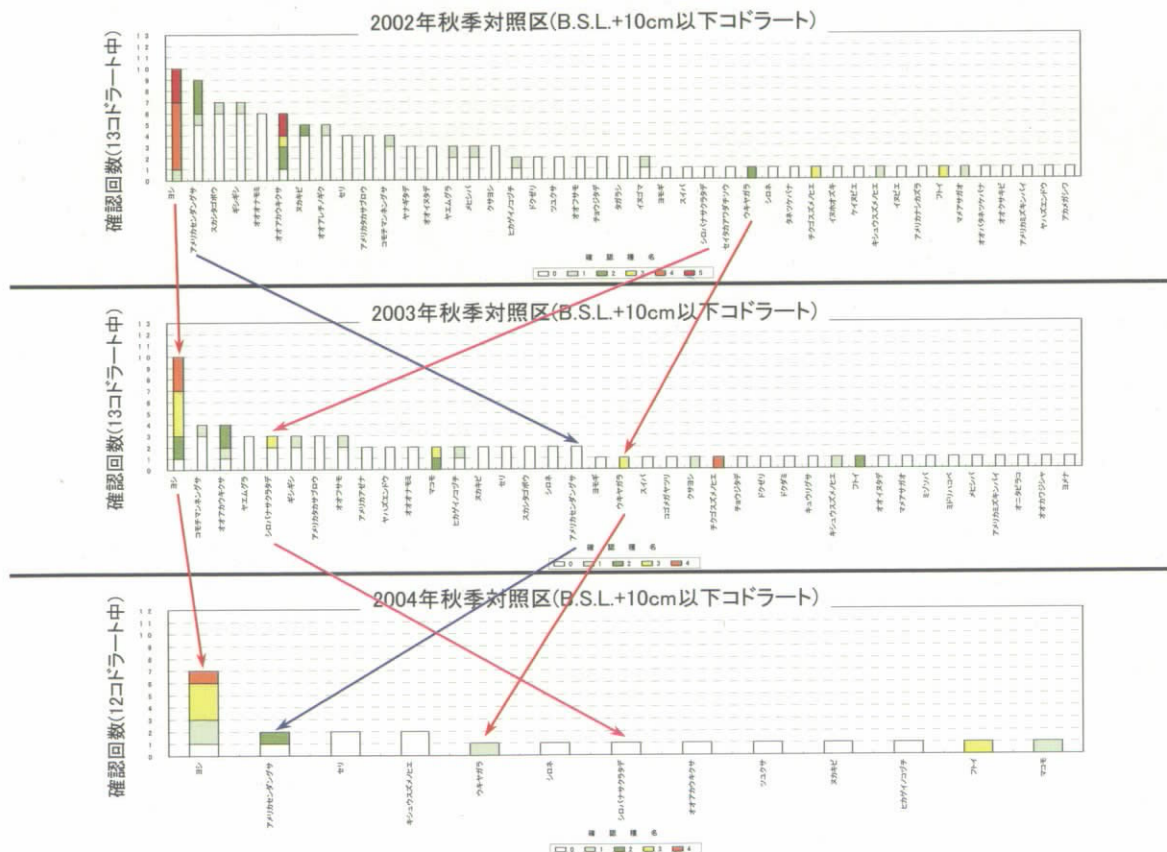


図 4-5 対照区におけるコドラート構成種の経年変化(秋季)

4.3 ヨシの生育状況(被度・群度)の変化

植生組成表から、ヨシの生育状況の経年変化を調べた。春季・夏季の植生調査時では、ヨシが生長過程であるため単純に過年度のヨシの生育状況とは比較できないが、秋季調査時はヨシの生長が止まり群落の大きさに変化がなくなっていることから、秋季の植生組成表を用いてヨシの生育状況の変化を調べた。

生育状況を示す指標として、被度・群度を用いた。2002 年秋季から 2004 年秋季までの 3 季の植生調査において、被度・群度が減少し続けたコドラートをヨシが減少傾向であるとし、増加し続けたコドラートを増加傾向にあるものとして評価した。結果を図 4-9 に示す。実験区では、ヨシが減少傾向にあったコドラートは 4 箇所であり、いずれも植生範囲内(陸側から 1 番目と 3 番目のコドラートの間)のコドラートであった。このことは、水際線が植生範囲内で移動することにより群落内を攪乱し、シロバナサ

クラタデやアメリカセンダングサおよびシロネなどが増加することに起因すると考えられる。一方、琵琶湖に面したコドラートでは、減少傾向はみられずコドラート12では増加傾向であった。このことから、実験区でのヨシの減少は波による直接的な影響と比較して、波の打ち寄せによるゴミ、枯れヨシの堆積やローリングなどの間接的な影響が大きいことが示唆された。

対照区においては、水際となる範囲が裸地として集約さ

れており、枯れヨシやゴミの堆積によるヨシの減少はほとんど見られないが、実験区より水深の深い地域でヨシが生育しているため、高水位(水面位置がヨシ草丈の上部となる場合)であった今年度は、切れ藻の漂着などによってなぎ倒されていた。2002年秋季はB.S.L. -0.9m、2003年秋季はB.S.L. -0.35m、2004年秋季はB.S.L. -0.08mと年々高くなったため、沖側のヨシ群落が増加傾向となったと考えられる。

4.4 まとめ

過年度の消波施設撤去後1年間の植生調査から継続して調査を行った。今年度の後半は例年と比較して水位が高く水面下となる時期が長かったため、秋季では2002、2003年と比較して両調査区共に植生全体の植被率が減少した。

実験区では、2003年と同様に、植生範囲内の水際線の移動による攪乱作用によって、一部植生が変化し、ヨシなどの植生が減少した地域が見られた。しかし、実験区で優占するヨシ、クサヨシ、ウキヤガラ、シロネの植生構成が変化や消失するような大きな植生変化は見られなかった。

対照区では、水際となる頻度の高い範囲が帯状に分布しており、波による地形変化などの影響がその範囲に集中するような環境となっているため、それ以外の地域における大きな植生分布の変化は見られなかった。しかし、水深の深い地域に形成されているヨシ群落は切れ藻の漂着により大きく縮小した。

2002年秋季から今年度秋季までの植生調査によって、実験区でのヨシの減少要因は水際線の移動による攪乱作用であり、地盤変化による影響は小さいことが示唆された。しかし、実験区全体でヨシが減少傾向であったコドラートが全24コドラート中4個のみであり、ヨシの群落が大きく減少することはなかった。

しかし、実験区では大きな植生変化は見られなかったが、調査開始から毎年植生内で水際線の移動による攪乱が起こっているため、植生はまだ遷移途中である可能性も考えられる。

5. ヨシ生長調査

5.1 ヨシ茎個体数密度の経時変化

5.1.1 実験区と対照区の比較

実験区と対照区のヨシ茎個体数密度の経時変化を図5-1に示す。予備調査では、平均ヨシ茎個体数密度が、実験区で142本/m²、対照区で92本/m²であった。枯れヨシを対

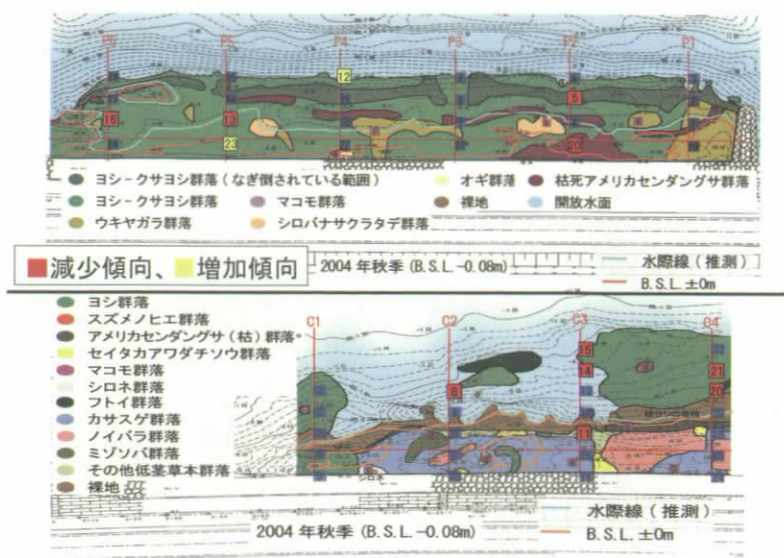


図4-9 ヨシの生育状況(被度・群度)の変化

象としたため 2002 年以前のヨシが残っている可能性もあるが、琵琶湖周辺の平均値に比べて高い値であった。2002 年は実験区、対照区ともに、密にヨシが繁茂していたことが推測される。実験区では 2003 年 4 月 5 日にヨシの新芽が確認され、5 月 10 日に 72 本/m²の茎個体数密度となった。その後、6 月 1 日に 70 本/m²、6 月下旬から 7 月中旬にかけて 53 本/m²となり、8 月 28 日で 45 本/m²、10 月 18 日では 32 本/m²まで減少した。2004 年は 5 月 8 日に 31 本/m²、6 月 19 日に 24 本/m²、8 月 21 日に 36 本/m²であり、撤去後一年目に比べて密度は減少した。一方、対照区では 2003 年 5 月 10 日に茎密度 44 本/m²、6 月 1 日に 46 本/m²となり、その後、8 月 28 日までは 40 本/m²前後を推移し、10 月 18 日では 34 本/m²まで減少した。2004 年は 5 月 8 日に 19 本/m²、6 月 19 日に 20 本/m²、8 月 21 日に 12 本/m²であり、2003 年に比べて茎密度は減少した。2003 年以降夏季の琵琶湖水位が高く保たれており、低地盤高に広がる対照区のヨシに対する影響が示唆された。2001 年の琵琶湖周辺の自生ヨシ群落では、夏季に平均茎密度が 50 本/m²であったとの報告があるが、2004 年は実験区、対照区とも平均値を下回る結果となった。

5.1.2 実験区の測線別の経時変化

実験区の測線別の平均ヨシ茎個体数密度の経時変化を図 5-2 に示す。消波施設撤去直後の 2002 年 12 月では、枯ヨシの平均茎個体数密度は測線+120m>+60m>+180m>+150m>+30m>+90m の順であった。2003 年 4 月から新芽の発芽が確認され、5 月 10 日には測線+120m で茎密度 100 本/m²以上であったが、測線 30m では茎密度約 50 本/m²であり、測線別に差が見られた。その後、茎密度は全体的に減少傾向にあり、測線別の差は小さくなった。測線別には、測線+30m、+90m で茎密度が小さい傾向にあり、2002 年 12 月での茎密度の大きさが反映される傾向にあった。2004 年 8 月 21 日の平均茎個体数密度は測線+150m>+60m>+180m>+90m>+120m>+30m の順であり、撤去直後に比べて測線+120m の茎密度が相対的に減少したが、その他の測線については撤去直後の茎密度が反映される傾向であった。

5.1.3 対照区の測線別の経時変化

実験区の測線別の平均ヨシ茎個体数密度の経時変化を図 5-3 に示す。2002 年 12 月では、枯ヨシの平均茎個体数密度は測線-70m>-140m>-130m>-110m の順であり、上位 2 測線では茎個体数密度が 100 本/m²以上であった。5 月から新芽の発芽が確認され、5 月 10 日には測線-70m で茎密度 59 本/m²であったが、測線-110m では茎密度 22 本/m²であり、測線別に差が見られ、その順番は 2002 年 12 月の茎密度を反映していた。その

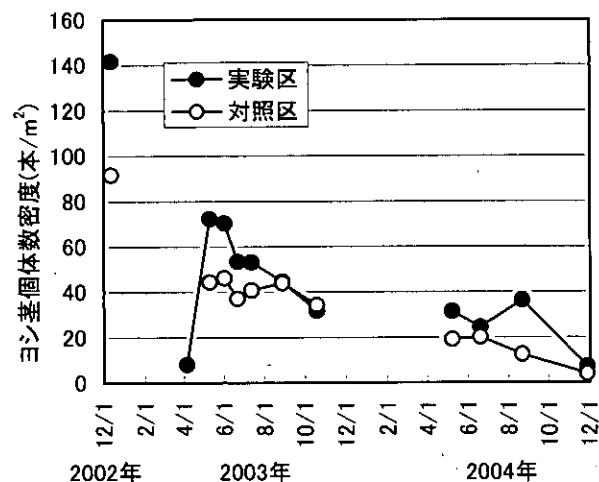


図 5-1 実験区・対照区でのヨシ茎個体数密度の変化

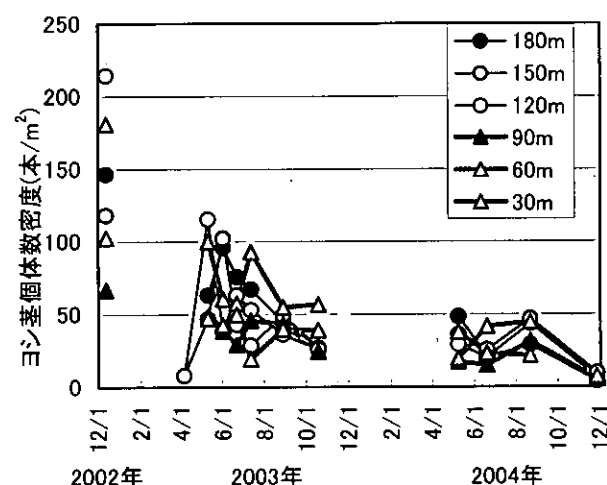


図 5-2 実験区での測線別のヨシ茎個体数密度の変化

後 8 月下旬まで全体的に茎密度が減少しない傾向にあった。実験区に比べ低地盤高にヨシが生育したため、6 月以降の水位の低下により新たに発芽するヨシが沖域で存在したと推測される。2004 年 8 月 21 日の平均茎個体数密度は測線-70m > -130m = -140m > -110m の順であり、撤去後 2 年目も撤去直後の茎密度が反映される傾向であった。

5.2 区画内最長草高の経時変化

5.2.1 実験区と対照区の比較

実験区と対照区の区画内ヨシ最長草高の平均値の経時変化を図 5-4 に示す。消波施設撤去直後の 2002 年 12 月 12 日の区画内ヨシ最長草高の平均値は、実験区で 190cm、対照区で 204cm であった。実験区では 2003 年 4 月 5 日からヨシの発芽が確認され、その後 8 月 28 日に 200cm になるまで、時間の経過とともに区画内最長草高の平均値は徐々に高くなった。2004 年 8 月 21 日の最長草高の平均値は 223cm であり、撤去後 1 年目に比べて 23cm 高かった。一方、対照区では 2003 年 4 月 5 日にヨシは確認されず、5 月 10 日に区画内最長草高の平均が 146cm と実験区よりも高いヨシが多数確認された。6 月 1 日には区画内最長草高の平均が 200cm を超え、8 月 28 日に 233cm と最大となり、10 月 18

日には 200cm を下回った。2004 年 6 月 19 日の平均値は 220cm と実験区を上回ったが、8 月 21 日には 213cm と実験区を下回った。撤去後 1 年目と 2 年目を比較すると、対照区ではあまり変化がなかったが、実験区で 8 月の平均値が 23cm 高くなった。

5.2.2 実験区の測線別の経時変化

実験区の測線別の区画内ヨシ最長草高の平均値の経時変化を図 5-5 に示す。消波施設撤去直後の 2002 年 12 月では、枯ヨシの区画内最長草高の測線別平均値は、測線+150m > +120m > +180m > +90m > +60m > +30m の順であった。2003 年 4 月 1 日には、測線+150m、+120m、+30m で草高の低いヨシが確認された。測線+180m では、5 月 10 日から 6 月 21 日にかけて草高平均値が著しく上昇し、その後 10 月 18 日まで 220cm 前後を推移し、実験区の中では最も草高平均値の高い測線であった。測線+150m、+120m、+60m では、5 月 10 日か

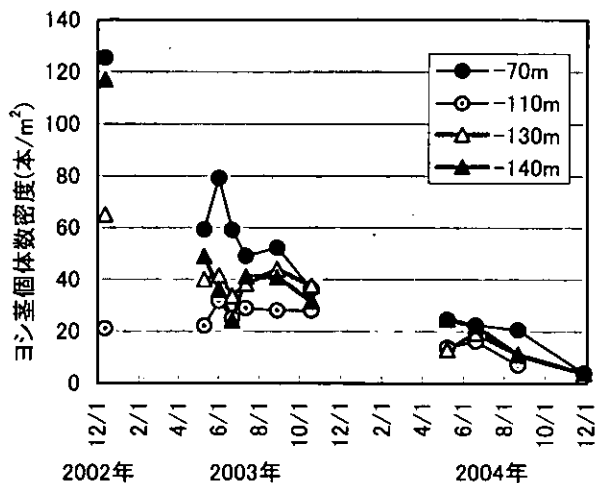


図 5-3 対照区での測線別のヨシ茎個体数密度の変化

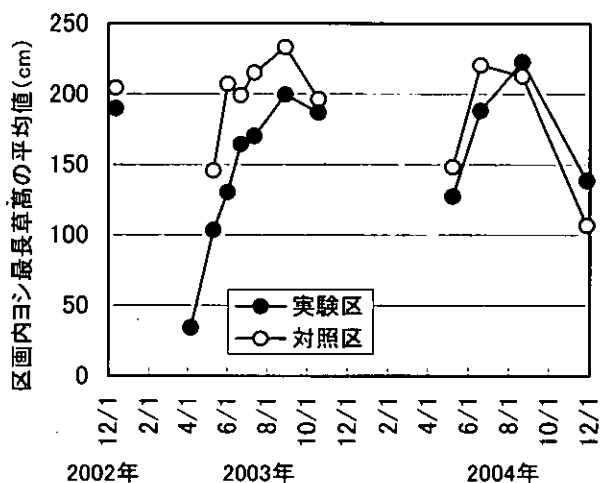


図 5-4 実験区・対照区での区画内ヨシ最長草高平均値の経時変化

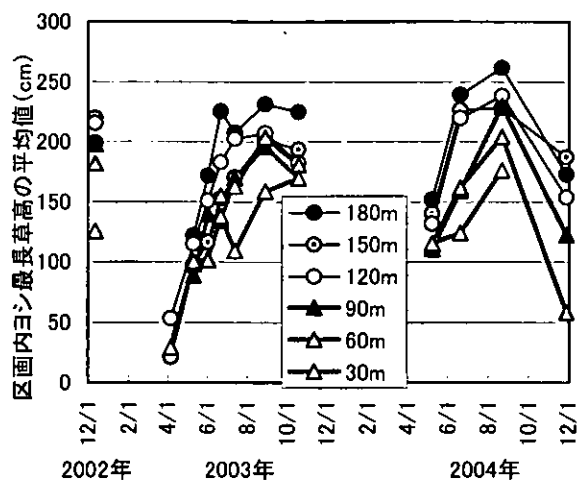


図 5-5 実験区での測線別の区画内ヨシ最長草高平均値の経時変化

ら8月28日にかけて、区画内最長草高の平均値が上昇し、8月28日における値は、201cm、207cm、204cmとなった。また、測線+90mでは、6月1日から6月21日にかけて区画内最長草高の平均値がやや小さくなったが、その他では8月28日まで徐々に草高が上昇し、8月28日には196cmであった。一方で、測線+30mのヨシは、他の測線とは異なった経時変化を示した。他の測線に比べて草高の上昇時期が遅く、最長となった10月18日時点での区画内ヨシ最長草高の平均値は170cmと6測線中最小であった。2004年8月には一年前に比べて、各測線で1~34cm高くなり、もっとも高くなった測線は測線+90mであった。

5.2.3 対照区の測線別の経時変化

実験区の測線別の区画内ヨシ最長草高の平均値の経時変化を図5-6に示す。2002年12月では、枯ヨシの区画内最長草高は測線-70m > -130m > -140m > -110mの順であり、上位3測線では最長草高の平均値が200cm以上であった。測線-70m、-110mでは、2003年5月10日から8月28日にかけて区画内最長草高の平均値が上昇し、8月28日には、271cm、294cmであった。両測線とも、同調査日の実験区の結果に比べて高い結果となった。一方、測線-130m、-140mでは、5月10日から10月18日にかけて、区画内最長草高の平均値が140~200cmを推移し、両測線はほぼ同様の経時変化であった。このように、対照区では区画内最長草高の平均値が、大きく2つのパターンに分かれた。2004年も大きく2つのパターンに分かれたが、測線-70m、-110mでの平均値が小さくなったことにより、その差も小さくなった。

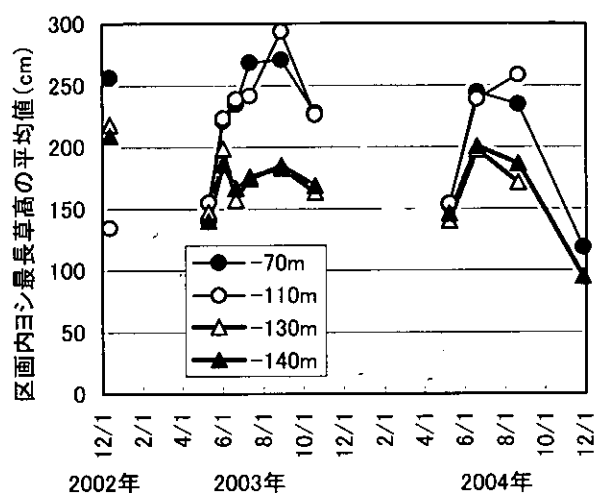


図5-6 対照区での測線別の区画内ヨシ最長草高平均値の経時変化

5.3 まとめ

消波施設撤去直後の12月12日と、その後2年間のヨシ茎個体数密度、区画内最長草高との関係を表5-1に整理する。消波施設の撤去後の約半年間で、平均茎個体数密度は実験区で142本/m²から70本/m²へ約50%減少した。2002年12月12日には、枯ヨシを対象に計測を行っているため、この減少が消波施設撤去の影響によるものであるとの判断は難しい。同様に対照区では、茎個体数密度が92本/m²から46本/m²へと約50%減少した。2002年と2003年では琵琶湖水位の経時変化が大きく異なるなどの要因も考えられるが、実験区と同様に、2002年12月12日には、枯ヨシを対象に計測を行っているため、対照区についても、茎個体数密度が減少したとの判断は難しい。ただし、2003年の実験区、対照区の平均ヨシ茎個体数密度は、琵琶湖周辺の自生ヨシ群落での茎密度の平均値(49.8本/m²)に近い結果を示した。2004年は実験区で茎密度

表5-1 消波施設撤去後2年間のヨシ関連指標

		消波施設撤去の				
		約1ヶ月後 2002/12/12	約半年後 2003/6/1	約1年後 2003/8/28	約1年半後 2004/5/8	約2年後 2004/8/21
平均茎個体数密度 (本/m ²)	実験区	142*	70	45	31	36
	対照区	92*	46	44	19	12
区画内最長草高 平均値(cm)	実験区	190*	130	200	127	223
	対照区	204*	207	233	148	213

*枯ヨシ対象

が 30 本程度を推移し、草高も撤去後 1 年目より高くなった。一方、対照区では茎密度が大幅に減少し、草高も少し小さくなった。実験区でのヨシ生育の推移を検討するためにも、対照区幅な減少が 2004 年特有の現象であったかどうかを検討する必要があると考えられる。

6. 底質調査

6.1 粒度分布の経時変化

6.1.1 粒度構成比

実験区、対照区別の地点別の粒度構成比を図 6-1 に示す。実験区 35m 地点では、消波施設撤去直後には、礫分が 57%と荒い土壌であったが、2003 年 6 月 21 日には礫分が 38%となり砂分が少し増加した。その後、10 月 29 日には礫分が 53%となり、消波施設撤去直後の粒度構成に近づいた。本地点は消波施設撤去の影響をもっとも大きく受けると考えられる場所であり、水位の変化や波浪により、粒度構成の変化が大きい地点であると考えられる。2003 年 10 月～2004 年 5 月にかけて粒子が少し細くなり、その後 11 月にかけて再び粗くなる傾向であったが、年毎には礫分の割合が減少する傾向にあった。一方、実験区 18m 地点は撤去直後の礫分は 35%であり、沖域に比べてやや細かい粒度で構成されていた。2003 年 6 月 21 日には礫分が 27%となり、その後、8 月 23 日には礫分が 35%、10 月 29 日には礫分が 27%であった。沖域に比べて変化は小さかった。2004 年は 8 月 21 日に礫分が減少し、11 月 27 日に再び増加したが、全体的には礫分は減少傾向にあると言える。

対照区の 32m 地点は 2002 年 11 月 14 日には、全体の 82%を細砂が占め、礫分は 3%であった。2003 年の 6 月 21 日に細砂が 81%であったが、8 月 23 日には 32%にまで減少した。10 月 29 日には細砂が 75%となり、再び細かい砂質土へと戻った。2004 年は土壌が細くなり礫分はほとんど見られなくなった。

一方、対照区の 27m 地点は 2002 年 11 月 14 日には細砂が 48%、粗砂 38%、礫分 12%であり、沖域よりはやや粒径は大きい、比較的細かな砂質土であった。2003 年 6 月 23 日には、細砂 14%、粗砂 62%、礫分 23%とやや粗くなったが、10 月 29 日には細砂が 30%、粗砂 53%、礫分 15%と再び細くなった。2004 年は沖域同様に礫分が見られなくなり、粒子の細かな土壌へと変化したことが読み取れる。

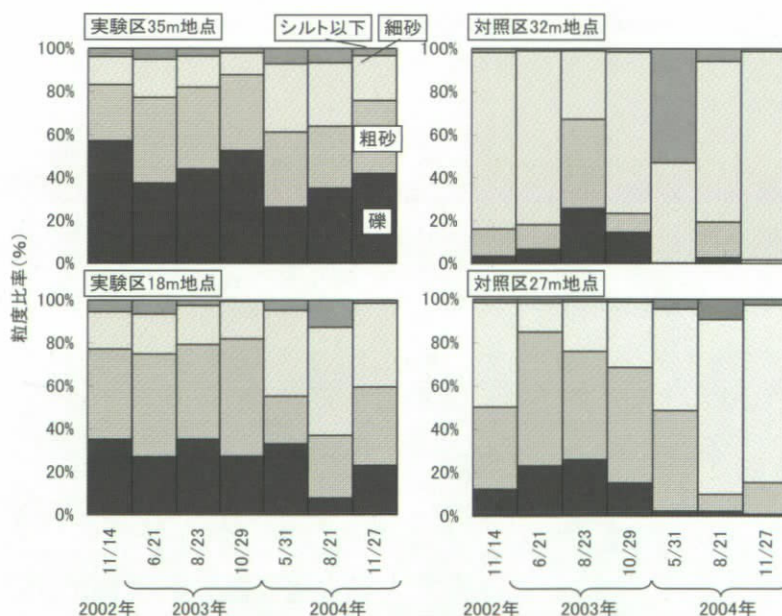


図 6-1 実験区・対照区の地点別粒度構成比

6.1.2 粒径分布曲線

消波施設撤去直後の 2002 年 11 月 14 日の粒径分布曲線を図 6-2 に示す。実験区沖 > 実験区陸 > 対照区陸 > 対照区沖の順に粗く、対照区沖は、比較的均質の砂で構成されていた。地点ごとに粒径分布が異なる結果となった。2003 年 6 月 21 日の粒径分布曲線を図 6-3 に示す。対照区沖、実験区陸の変化が小さかった。一方で、実験区沖では粒

径分布が全体的に細くなり、対照区陸では、やや粗くなった。

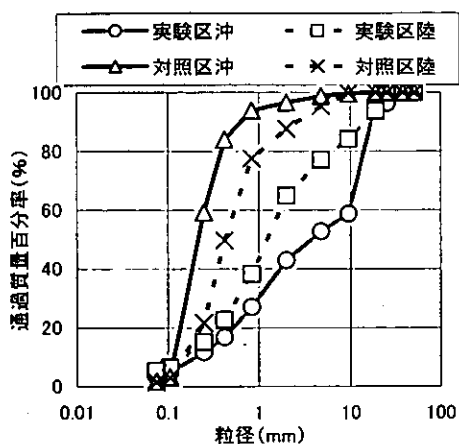


図 6-2 消波施設撤去直後の地点別の粒度分布

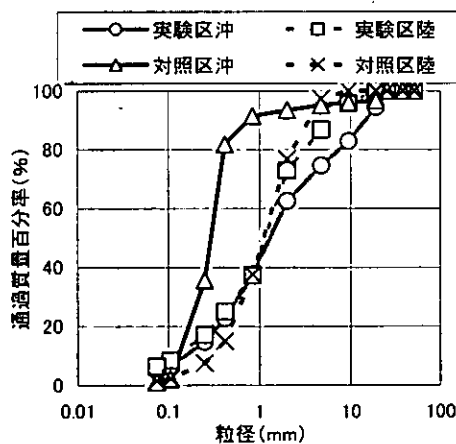


図 6-3 2003年6月21日の地点別の粒度分布

2003 年 8 月 23 日の粒径分布曲線を図 6-4 に示す。対照区沖がやや粗くなり、全体的に実験区と対照区の差が小さくなった。また、全体的に粒径分布幅が大きくなった。2003 年 10 月 29 日の粒径分布曲線を図 6-5 に示す。実験区沖で再び粒度が粗くなり、対照区沖で粒度が細くなった。一方で、実験区、対照区の陸では、あまり大きな変化はなかった。

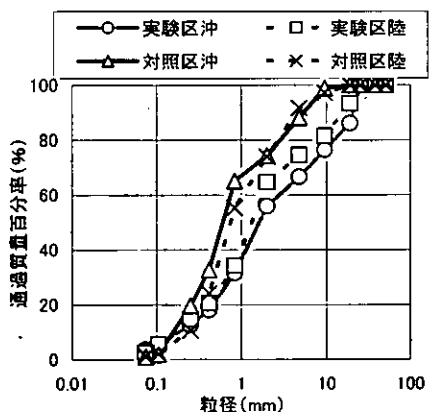


図 6-4 2003年8月23日の地点別の粒度分布

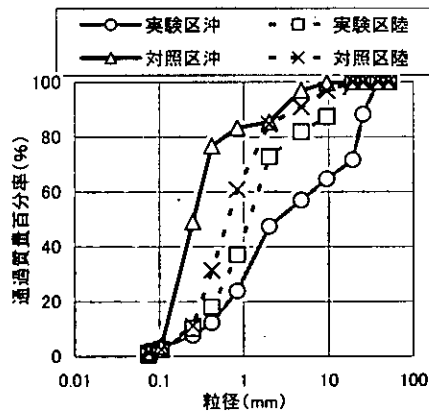


図 6-5 2003年10月29日の地点別の粒度分布

2004 年 5 月 31 日の粒径分布曲線を図 6-6 に示す。実験区沖で粒度が少し細くなり、対照区沖で粒度がさらに細くなった。一方で、実験区、対照区の陸では、あまり大きな変化はなかった。琵琶湖水位が上昇し、特に沖域で粒子が細くなる傾向が読み取れた。2004 年 8 月 21 日の粒径分布曲線を図 6-7 に示す。実験区沖域の粒度分布はほとんど変化がなく、実験区陸、対照区陸で細くなった。対照区沖は中央粒径はほと

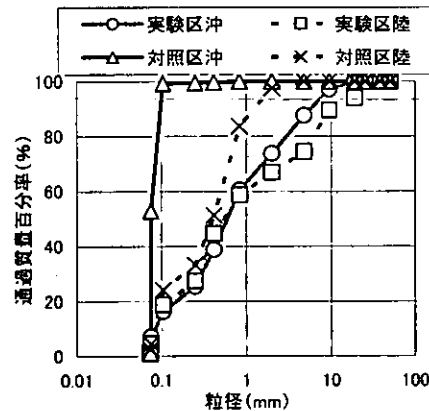


図 6-6 2004年5月31日の地点別の粒度分布

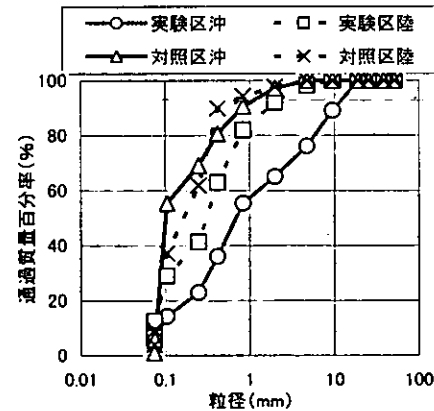


図 6-7 2004年8月21日の地点別の粒度分布

んど変化がなかったが、粒径 0.1~1.0mm の粒子の割合が増加した。5月~8月にかけては琵琶湖水位が低く、沖域の粒度分布の変化には水際線の位置が寄与していることが示唆された。

2004年11月27日の粒度分布曲線を図6-8に示す。実験区沖域の粒度分布はあまり変化がなかった。実験区陸では粒径1mm以上の粒子の割合が約10%増加した。対照区沖では粒子がやや細くなり、対照区陸ではあまり変化がなかった。

6.2 粒度分布関係指標の経時変化

地点別の50%粒径の経時変化を図6-9に示す。2002年11月14日には、50%粒径が実験区沖で4.0mm、実験区陸で1.4mmと実験区で高く、いずれも琵琶湖沿岸自生ヨシ群落での平均値1.1mmを上回っていた。一方、対照区では、沖で0.2mm、陸で0.4mmであり、いずれも自生ヨシ群落の平均値を下回った。実験区沖では、消波施設撤去直後から2003年6月21日にかけて、50%粒径が4.0mmから1.4mmに小さくなった。しかし、実験区陸、対照区沖ではほとんど変化がなく、対照区陸では50%粒径が少し大きくなった。その後、10月29日にかけて実験区沖では50%粒径が

2.7と大きくなったが、その他の地点での変化は小さかった。実験区沖では、消波施設の撤去により、波浪などの影響により地盤高および土壌の変動が続いていたと考えられる。2003年10月~2004年5月にかけて特に実験区沖の50%粒径が小さくなった。全体的に琵琶湖沿岸自生ヨシ群落での平均値1.1mmに近づくか、またはそれを下回る粒径に変化し、実験区における変化が顕著であった。

地点別の均等係数の経時変化を図6-10に示す。均等係数とは、粒度分布曲線の傾度を表す指標であり、大きいほど、粒度分布の幅が広いことを示し、1に近いほど粒径が揃っていることを示す。2002年11月14日には、実験区沖で均等係数46と高く、続いて実験区陸で11、対照区陸で4、対照区沖で2であった。琵琶湖の自生ヨシ群落の平均値は22であり、消波施設撤去直後の実験区沖を除くと、すべて下回る結果となった。実験区沖では、2002年11月14日から2003年6月21日にかけて、均等係数が46から11へと小さくなり、その後10月29日まで比較的、低い値であった。2004年は5月から11月にかけて実験区沖で均等係数が少し上昇し、11月27日で18であった。消波施設撤去直後の実験区沖では土壌の移動があり、土壌の粒度分布幅が広がったのではないかと考えられる。

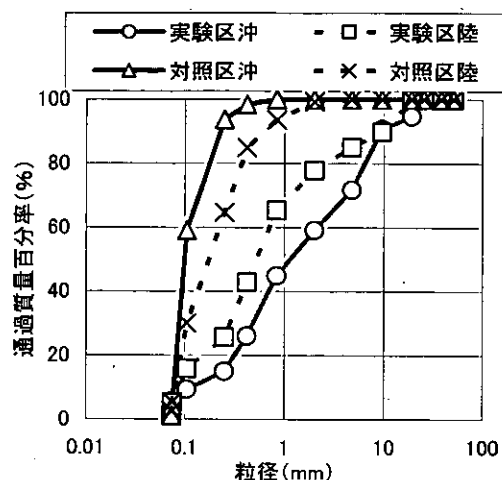


図 6-8 2004年11月27日の地点別の粒度分布

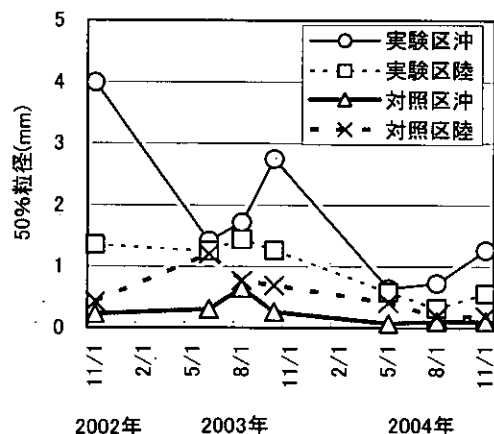


図 6-9 50%粒径の地点別の経時変化

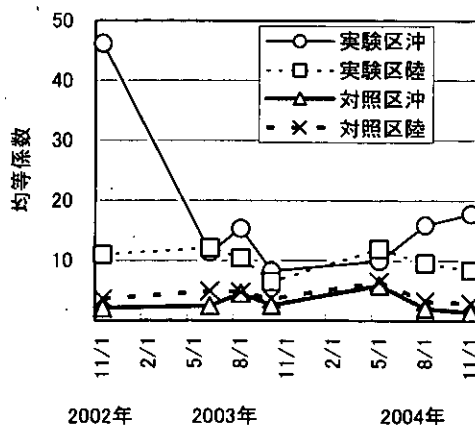


図 6-10 均等係数の地点別の経時変化

地点別の曲率係数の経時変化を図 6-11 に示す。曲率係数とは、粒度分布が一様であるか、階段状であるか等のなだらかさを示す指標である。消波施設撤去直後の 2002 年 11 月 14 日には、実験区陸 1.3、対照区沖陸 1.0、実験区沖 0.5 であった。琵琶湖の自生ヨシ群落における平均値は 3.1 であり、どの地点とも平均値を下回った。2003 年、2004 年とも顕著な増加、減少傾向は認められなかった。

6.3 土壌の成分含有率の経時変化

地点別の土壌のリン含有率の経時変化を図 6-12 に示す。消波施設撤去直後の実験区沖域の土壌リン含有率は $4390 \mu\text{g/g}$ と非常に高濃度であったが、その半年後には $703 \mu\text{g/g}$ に低下した。その後、 $400 \sim 660 \mu\text{g/g}$ を推移しており、大きな上昇は見られない。一方、対照区沖では $238 \sim 612 \mu\text{g/g}$ を推移しており、琵琶湖の自生ヨシ群落における平均値 $230 \mu\text{g/g}$ に近い値を示した。消波施設の撤去により、特に実験区沖域の土壌リン含有率が大きく低下し、対照区に近づいた。

地点別の土壌の窒素含有率の経時変化を図 6-13 に示す。消波施設撤去直後の実験区沖域の土壌窒素含有率は $1848 \mu\text{g/g}$ と非常に高濃度であったが、その半年後には $1027 \mu\text{g/g}$ に低下した。その後、 $619 \sim 1800 \mu\text{g/g}$ を推移し、2004 年 11 月 27 日時点で $1360 \mu\text{g/g}$ であった。実験区陸域では沖域よりも土壌窒素含有率が高く推移し、 $1492 \sim 4844 \mu\text{g/g}$ であった。対照区においても沖域より陸域で窒素含有率が高い傾向であった。ヨシ群落内土壌への窒素の供給源としてはヨシの落葉の影響が考えられ、その影響が陸域で強く生じたものと推測される。

地点別の土壌の炭素含有率の経時変化を図 6-14 に示す。消波施設撤去直後の実験区沖域の土壌窒素含有率は $18943 \mu\text{g/g}$ であり、その後 $7192 \sim 16397 \mu\text{g/g}$ を推移し、2004 年 11 月 27 日時点で $10461 \mu\text{g/g}$ であった。窒素の経時変化と近似しており、ヨシ群落表層

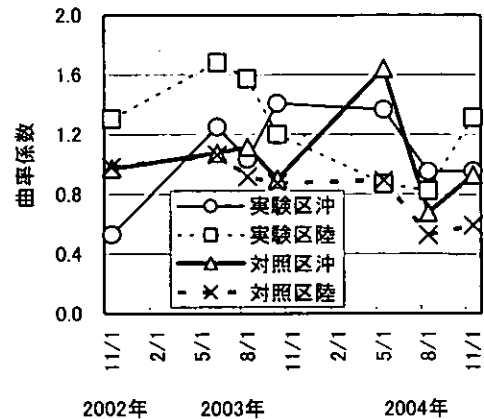


図 6-11 曲率係数の地点別の経時変化

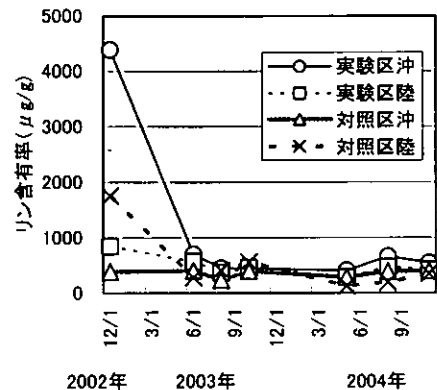


図 6-12 土壌のリン含有率の地点別の経時変化

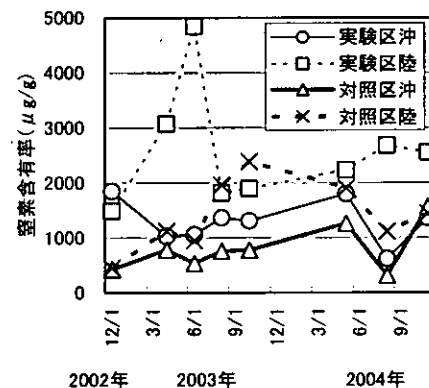


図 6-13 土壌の窒素含有率の地点別の経時変化

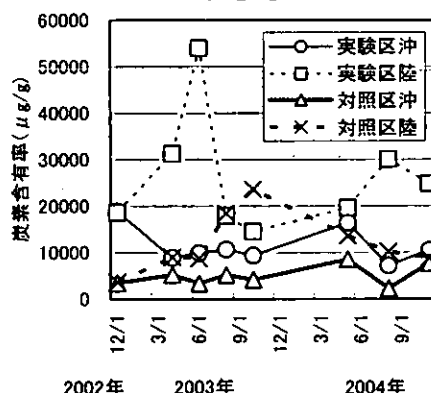


図 6-14 土壌の炭素含有率の地点別の経時変化

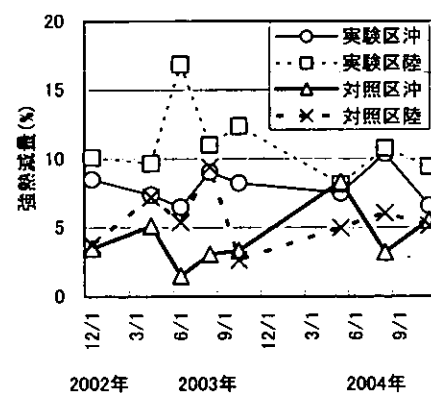


図 6-15 土壌の熱容量の地点別の経時変化

土壌の窒素、炭素比の変化はあまり見られない結果であった。

地点別の土壌の強熱減量の経時変化を図 6-15 に示す。消波施設撤去直後は実験区陸＞実験区沖＞対照区陸＞対照区沖の順であり、その順は 2004 年 11 月 27 日でもあまり変わらなかった。実験区沖域では、消波施設撤去直後からその 2 年後かけて 8.5% から 6.6% に低下したが、他の指標に比べて変化が小さい指標であった。

6.4 まとめ

消波施設撤去直後と、その後の土壌の粒径分布に関する指標との関係を表 6-1 に整理する。消波施設撤去直後の実験区沖の土壌は、50% 粒径、均等係数が高く、曲率係数が低かったが、撤去後の時間経過に伴い、50% 粒径、均等係数は大幅に小さくなり、曲率係数は少し大きくなった。消波施設撤去直後とその 1 年 9 ヶ月後の実験区沖域における値を、琵琶湖自生ヨシ群落での平均値と比較すると、50% 粒径は 3.6 倍が 0.7 倍へ、均等係数は 2.1 倍が 0.7 倍へ、曲率係数は 0.2 倍が 0.3 倍へ、土壌のリン含有率は 19 倍が 3 倍へ、窒素含有率は 3.5 倍が 1.2 倍へそれぞれ変化した。各指標とも自生ヨシ群落の土壌平均値へ近づいており、特に実験区沖域でその変化が著しい傾向となった。

表 6-1 消波施設撤去後の経過時間別の土壌関連指標

			直後	消波施設撤去の			
			2002/11/14	約半年後	約1年後	約1年半後	約2年後
			2003/6/21	2003/10/29	2004/5/31	2004/11/27	
50%粒径 (mm)	実験区	沖	4.0	1.4	2.7	0.6	1.3
		陸	1.4	1.3	1.3	0.6	0.6
	対照区	沖	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
		陸	0.4	1.2	0.7	0.4	0.2
均等係数	実験区	沖	46	11	8	10	18
		陸	11	12	6	12	8
	対照区	沖	2	2	3	6	1
		陸	4	5	4	6	3
曲率係数	実験区	沖	0.5	1.3	1.4	1.4	1.0
		陸	1.3	1.7	1.2	0.9	1.3
	対照区	沖	1.0	1.1	0.9	1.6	0.9
		陸	1.0	1.1	0.9	0.9	0.6
リン含有率(μg/g)	実験区	沖	4390	703	442	406	548
		陸	847	570	462	287	421
	対照区	沖	387	409	398	285	401
		陸	1754	283	562	128	350
窒素含有率(μg/g)	実験区	沖	1848	1058	1309	1800	1360
		陸	1492	4844	1899	2234	2553
	対照区	沖	426	536	778	1258	1558
		陸	453	947	2386	1904	1443
炭素含有率(μg/g)	実験区	沖	18943	8973	9395	16397	10461
		陸	18596	54007	14551	19646	24829
	対照区	沖	3468	3379	4146	8562	7684
		陸	3725	8739	23607	13594	8791
強熱減量(%)	実験区	沖	8.5	6.5	8.2	7.5	6.6
		陸	10.1	16.9	12.4	8.2	9.4
	対照区	沖	3.5	1.5	3.3	8.3	5.5
		陸	3.8	5.4	2.7	5.0	5.1

7. まとめ

7.1 各調査結果の消波施設撤去との関係

7.1.1 地盤高調査

消波施設撤去直後は、撤去により勾配が不安定となっていたこと、その部分が期間中浸食を受けやすい水際であったこと、およびこの期間中は冬季でもあり風が強く波の影響が大きかったこと等の要因が重なり、撤去箇所付近で 0~0.5m 程度の浸食とその沖側への堆積が見られた。しかし、撤去から半年後以降は現在まで地盤高におおきな変化は見られない。これについては、地盤が安定してきたことと、水位が初年度より高く沖側の急勾配の部分が直接波にさらされる機会が少なかったことが考えられる。

7.1.2 ヨシ面積調査

実験区においては、消波施設撤去直後は地盤侵食の影響により一部ヨシ帯の減少が確認されたが、撤去半年後以降より現時点までは、地盤浸食に伴うヨシ帯の減少は見られない。むしろ陸側の部分で水位や植生の変化によると思われるヨシ帯の減少がみられた。

7.1.3 植生調査

調査開始時の 2002 年秋季から 2003 年春季にかけて、消波施設撤去後に沖側(消波施設のすぐ陸側)の平坦な地域が侵食され、湿生草本による群落が消失した。また、消波

施設撤去によって植生群落内へ打ち寄せる波の影響が大きくなり、植生に変化が見られるようになったと考えられる。

しかし、植生の変化が見られるものの、ヨシ群落が大きく減少することはなかった。

7.1.4 ヨシ生長調査

消波施設撤去直後に、実験区では平均茎個体数密度が、146 本/m²(ただし、枯れヨシ対象)であり琵琶湖周辺の自生ヨシ群落での茎密度 49.8 本/m²と比較して非常に高かった。しかし、半年後には 70 本/m²、1 年後には 45 本/m²と自生ヨシの茎密度に近づいた。

さらに、1 年半後は 31 本/m²、2 年後は 36 本/m²となり自生ヨシの茎密度を下回った。今年度の茎密度の減少は対照区でも確認され、台風の影響によるものとも考えられることから、茎密度の減少が今年度特有のものであったかを検討する必要がある。

7.1.5 底質調査

消波施設撤去後、実験区での 50%粒径、均等係数、曲率係数が自生ヨシ群落の土壌平均値に近づいていることが分かった(6-6 まとめ 表 6-2 参照)。消波施設撤去によって実験区内でも他の自生ヨシ群落と同じような攪乱作用が働くようになったためと思われるが、今後、これらの変化と植生遷移の関係について検討する必要がある。

7.2 今後の課題

今年度の調査によって、消波施設撤去から地盤高、ヨシ帯面積、植生、ヨシ生長調査等の 2 年間のデータが得られた。これらから、現時点では地盤高や植生分布については徐々に安定してきているような結果が得られている。

しかし、2002 年の秋季(11 月 1 日時)の水位は B. S. L. -1.0m、2003 年度は B. S. L. -0.44m、2004 年度は B. S. L. -0.02m と調査年ごとに水位が高くなっており、2002 年の水位は過去 10 年間で最も低く、対照的に 2004 年の水位は 2 番目に高いという両極端な状況であったため、地盤については、2002 年のように再び水位が低くなった場合でも安定した状態であるか現時点で判断するのは時期尚早と思われる。現在の対照区の地形が西西南西からの風の影響によるものであるとすると、今後実験区も同様の地形に変化していく可能性も十分考えられる。

また植生についても、水位変動の影響と考えられる 1 年生植物を中心にした分布変動がみられた以外は実験区での大きな変化は見られなくなったが、消波施設撤去によって外部からの影響を受けるようになってからの経過時間が 2 年と短いことから、現在はまだ遷移過程である可能性も考えられる。

8. 謝辞

本調査のヨシ生長調査、底質調査、定点撮影調査は立命館大学理工学部および京都大学大学院工学研究科の協力を得て行ったことを付記し、ここに謝意を表します。

実験担当者

水資源機構関西支社

水資源機構琵琶湖開発総合管理所

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

設計課長

環境課

環境課長

環境課係長

実験センター所長

実験センター研究員

桜井 力

水野 正明

酒井 健寿

播磨 光一

柳田 英俊

工藤 慶庸

7. 生分解性吸着剤による窒素・リン除去実験

1. 目的

ナノ界面現象を利用する液体相から固体（あるいは固定化された溶媒）相への物質の移動（またその逆）は、液体クロマトグラフィーにおいて我々が日常的に利用している現象であり、流れを用いる物質分離の基本的な原理の1つである。完成された装置を用いる「分離」に関しては、分離に関わる要素のみに傾注すれば良いが、環境試料のように粒子、夾雑溶解物、微生物などが共存する複雑系の分析に際しては、前処理としてのろ過すらも容易でない場合があり、ましてや、実際の河川水などの流れの中からの目的対象物質の分離に関しては、分離に関わるナノ界面がゴミなどの堆積によりすぐに失われ、肝心の分離機構が機能しなくなることが継続的な分離能の発現の障害となる。このため、ナノ界面の確保のために、種々の手法が取られている。ろ過膜の場合には、連続的に気泡をろ過膜面に当て、ろ過膜面の堆積物の除去を図ることも行われているが、この場合、大きさに基づく分離となるので、表面の化学的な相互作用による分離と比較して、問題はまだ軽微である。樹脂表面の化学的な相互作用に関わる分離では、一般的には、表面への夾雑物付着の影響を最小限にするために多孔質化し、表面積を増大させることが好ましいが、実環境水に対応できる多孔質体の調製にいわゆるナノテクを用いることは実際的ではない。今回我々は、実環境水に対応するために、古典的な発泡状の分離媒体を設計し、上記の問題に対応することにした。発泡体は種々工業化され我々の生活に密着した素材ではあるが、実用上、分離媒体として用いられることは多くない。特殊な乳化重合で調製されたイオン交換媒体が発泡体に類似した骨格構造を持ち、その構造の均一性に基づき、従来のイオン交換樹脂と比較して優れた特性を与えることが報告されているように、発泡体も表面積の増大という観点からは、環境試料に対応可能な素材であると考えられる。

従来、高分子と溶媒からなる2相高分子溶液における相分離は、温度クエンチ（下限臨界共溶温度（LCST）型溶液では冷却、上限臨界共溶温度（UCST）型溶液では加熱）により、系は不安定化し、スピノーダル分解を経て最終的には界面張力が支配し、高分子リッチ相は球形、溶媒リッチ相は連続マトリックス相となる海島構造を生じるものとされてきた。しかしながら、最近の研究により、特に、各々の相の分子ダイナミックス（動力学、動き易さに関係）に極端に差がある系、例えば、ポリスチレン（ $T_g = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）とPVME（poly(vinylmethylether), $T_g = -23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）のブレンド系の相分離では、2相分離が遅く、過渡状態で特異な3次元連続構造が生成することが、実験により確認されている。また、このような系についての相分離の3次元理論シミュレーションによる実験との整合も行われている^①。このような動的に非対称な系^②では、体積変形に関わるバルク弾性率および分子間のずれ変形に対応するずれ弾性率とそれらの緩和、即ち、粘弾性効果が大きな影響をもつ。そのため粘弾性相分離現象と呼ばれ、実用的には、発泡ウレタンフォームや、溶媒気化による多孔分離膜の成形も粘弾性相分離の応用である。また、上記の過渡的3次元構造の緩和時間 τ は、田中らにより次の関係で与えられている^③。

$$\tau = \mu \times R / \gamma \text{---①}$$

（ μ ：粘度， R ：ドメインサイズ， γ ：界面張力）

本報のような、橋構造が形成され、発泡剤による窒素の気化が同時に進行する系は「のろまな分子」と「すばしっこい分子」から構成され、粘弾性効果が大きな影響を持つ

系と言える。このような観点からすれば、発泡体も最近報告例の多いモノリス分離媒体同様に高度に制御された3次元構造を有する多孔質体であると言える。

今回、我々は滋賀県の琵琶湖に流れ込む河川の1つである葉山川河口付近において、琵琶湖の富栄養化の一因である硝酸態窒素、およびリン酸態リンを吸着除去する媒体に関する検討を行った。これらの除去には、原理的にはアニオン交換樹脂が好適ではあるが、表面への夾雑物付着などの問題を回避しながら、継続的にナノ界面での分離を実践するためには、種々の工夫が必要である。今回我々は、微生物による生分解性樹脂の表面からの分解をナノ界面の確保に用いつつ、全体を発泡体とすることで、環境試料との接触面積の増大を図るという、自然の力を応用した効率的な吸着除去法を考案した。また、表面化学種としては、3次元架橋されたエステル系樹脂を用いることで、分子間の結晶状態を制御することにより、対象イオンに対する選択性の発現を制御した。一見ナノテクとはほど遠いが、ナノテクと分析、分離の実際の環境試料との橋渡しを行うことが本研究の大きな目的となっている。また、このようなナノ界面現象の環境科学、農業環境への寄与という観点からも興味を持たれる。

本検討は、財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構の平成14年度からの公募課題として採択された。

2. 実験

2.1 試薬

セバシン酸：ナカライテスク製市販品をそのまま用いた。

トリエタノールアミン：ナカライテスク製市販品をそのまま用いた。

塩酸：市販品をそのまま用いた。

アゾジカルボン酸 (ADCA)：永和化成製市販品を用いた。

リン酸発色試薬：和研純薬から購入した Phos Ver[®]3 を用いた。

水酸化テトラブチルアンモニウム水溶液 (0.5 mol/L)：和光純薬製市販品をそのまま用いた。

リン酸二水素カリウム：ナカライテスク製市販品を用いた。

硝酸銀：和光純薬製市販品を用いた。

過マンガン酸カリウム：和光純薬製市販品を用いた。

シュウ酸ナトリウム：和光純薬製市販品を用いた。

硫酸：市販品をそのまま用いた。

水：水道水をイオン交換樹脂のよりイオン交換後蒸留し、Model D46 BARNSTEAD E-Pure を用いて精製した。

2.2 ポリエステルアミンの調製

2.2.1 ブロック状ポリエステルアミンの調製^{④-⑨}

セバシン酸とトリエタノールアミン混合物 (3:2 (モル比)) を 150 °C に加熱して溶解させ、50 分間重合することでプレポリマーを得た。その後、減圧下で 220 °C に加熱脱水することで 2 時間重合した。(No 1)

2.2.2 塗布型ポリエステルアミンの調製

2.2.1 と同様にセバシン酸とトリエタノールアミンでプレポリマーを調製し、アセトンに溶解した。それを 2 時間減圧乾燥したシリカゲルに加えて 2 時間かくはんした後、アセトンを減圧留去した。その後、減圧下で 220 °C に加熱脱水することで 2 時間重合した。

2.2.3 発泡状ポリエステルアミンの調製

2.2.1 項と同様にセバシン酸とトリエタノールアミンでプレポリマーを調製し、ADCA（モル比や手法）を発泡剤として用いて窒素流入下 220 °C で加熱脱水することで重合を行った。今検討では、異なる発泡倍率で 2 種の発泡状ポリエステルアミンを調製した。（No 2, 3）

2.2.4 ポリエステルアミンの 4 級化

調製した 3 種のポリエステルアミンは、1%（v/v）塩酸水溶液に 3 時間浸漬することでアンモニウム塩に変換させ、4 級化ポリエステルアミンとした。

2.3 ポリエステルアミンの特性観察

2.3.1 走査型電子顕微鏡（SEM）観察

発泡状ポリエステルアミンの走査型電子顕微鏡（SEM）観察を行った。装置は日立製作所製 S-3000 N を用いて、試料表面に金蒸着を施し真空下で行った。

2.3.2 4 級化ポリエステルアミンのイオン交換容量の測定

蛍光 X 線分析装置により、絶対検量線法で測定した。一定量のポリエステルアミンを浸漬後の塩酸濃度をもとめ、そこからイオン交換容量を求めた。測定は、株式会社リガク製 Mini-X を用いて行った。

2.4 ブロック状ポリエステルアミンと塗布型ポリエステルアミンの吸着量比較

2.4.1 硝酸標準溶液に対する吸着実験

ポリエステルアミンの重量比が同じになるようにブロック状ポリエステルアミンおよび塗布型ポリエステルアミンを秤量して、硝酸標準溶液（6.3 ppm）に加えて 3 時間かくはんした。その後、ディスポーザブルフィルター（0.45 μm ）を用いてろ過した。ろ液を用いて硝酸イオンの定量を行った。

2.4.2 硝酸イオンの定量^⑩

標準サンプルを用いて検量線を作成し、絶対法で測定をした。この方法は島津製作所のアプリケーションデータに基づいて行った。測定条件は、移動相にリン酸二水素カリウム（10 mM）と水酸化テトラブチルアンモニウム（0.7 mM）の混合水溶液を用いて、流量 1 mL/min, 測定波長紫外（UV）210 nm, 室温で測定を行った。高速液体クロマトグラフィーは次の装置から構成したシステムを使用した。送液ポンプ：島津製作所製 LC-10Ai, インジェクター：レオダイン社製 7725, UV 検出器：島津製作所製 SPD-10Avi, デガッサ：島津製作所 DGU-12A, システムコントローラ：島津製作所製 SCL-10Avp, 低圧グラジエントユニット：島津製作所製 FCV-10AL, カラム：SHISEIDO CAPCELLPAK C18 NO. 40815。

2.4.3 リン酸標準溶液吸着実験

ブロック状ポリエステルアミンおよび塗布型ポリエステルアミンにリン酸標準溶液（2.8 ppm）を加えて 3 時間かくはんした。その後、ろ過したろ液を用いてリン酸イオンの定量を行った。

2.4.4 リン酸イオンの定量

25 ml のろ液に市販のリン酸呈色試薬を一定量（1 包）加え発色させた後、890 nm で分光光度計によって測定した。絶対検量線法で測定した。測定条件は、波長：890 nm、温度 25 ℃で水をブランクとして測定を行った。検量線として得られた式： $Y = 0.24X + 0.003$ （Y：吸光度（Abs），X：濃度（ppm））を用いて行った。用いた装置は、島津製作所製 UV-3101PC である。

2.4.5 実環境水中での吸着実験

ブロック状ポリエステルアミンと塗布型ポリエステルアミンを水路に設置した。試料に対して上流側と下流側で、隔月で水を採取した。

2.4.6 硝酸イオンの定量

採取した水の硝酸イオンの定量を行った。2.4.2 項と同様の手順で行った。

2.4.7 リン酸イオンの定量

採取した水のリン酸イオンの定量を行った。2.4.4 項と同様の手順で行った。

2.5 ブロック状、発泡状ポリエステルアミンの初期吸着速度の検討

2.5.1 ポリエステルアミンの洗浄

ブロック状と発泡状ポリエステルアミンの 2 種を 5 g 秤量し、メタノールで洗浄した。メタノールから取り出して真空乾燥させた。

2.5.2 硝酸標準溶液に対する初期吸着量の測定

硝酸標準溶液（5 ppm）に、洗浄したポリエステルアミン 2 種を 2 g ずつ加えてかくはんした。0.5 時間後の溶液を 1 ml 取り出し、ディスポーザブルフィルター（0.45 μm）を用いてろ過した。ろ液の硝酸イオンの定量を行った。2.4.2 項と同様の手順で行った。

2.6 実地試験

2.6.1 施設

当実験は、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターで実地試験を行った。

2.6.2 カセットの作製方法

調製したポリエステルアミンを、10 mm の厚さにスライスした。ポリエステルアミンは脆いため、ポリエチレン樹脂製ネット（ポリエチレン製の 0.1 mm 径繊維を 1 インチ当り 15 本ネット状に形成した幅 430 mm の袋）に 1 層入れて、その両側をピッチ 35 mm の金網で挟み、幅 430 mm、高さ 650 mm の吸着性樹脂カセットを作製した。カセット外観写真を図 1 に示す。なお、1 カセットあたりの樹脂重量は、上記仕様で 0.5 kg であった。



図 1. カセットの外観写真

2.6.3 ラックの作製方法

作製したカセットを、L型鋼で組み立てた幅 630 mm、高さ 650 mm、長さ 1200 mm のラックに、150 mm ピッチで千鳥状に組み付けた。組み付けたカセット枚数は、1 ラック当り 6 枚ないしは 7 枚とした。図 2 にカセットをラックに組み付けた状態を、図 3 に概要を示す。



図 2. カセット取り付け外観写真



図 3. カセット取り付け概要

2.6.4 ラックの浸漬方法

用いた水路は、長さ 24 m、幅 2 m、深さ 0.9 m (設定水深 0.65 m) であり、その幅を 3 分割しているため、1 水路の幅は 630 mm になっている。流入水は 6 L/min に設定した。その水路の全体写真を図 4 に示す。

今回の実験では、2水路を遮蔽し、1水路のみに導水した。1つの水路にラックを浸漬すると、図5に示すように、水はカセットの表面に接触しながら、カセットに沿って蛇行することになる。今実験では、カセットを計20枚（ラック3個の直列配置）浸漬した。

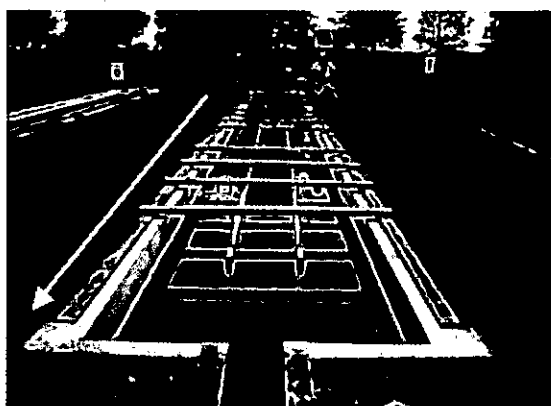


図4. 水路

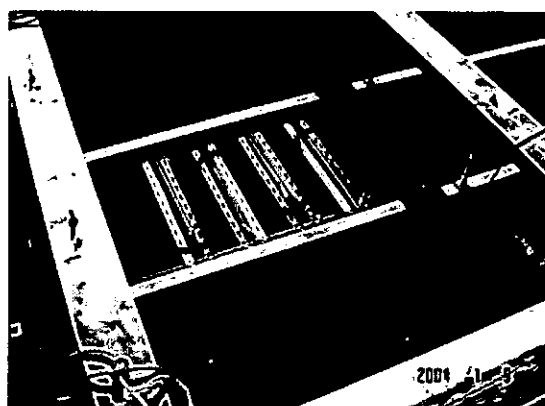


図5. 水路中の水の流れ

2.6.5 採取

水は20枚のカセットの上流側と下流側で採取した。

2.7 採取した水の分析

2.7.1 硝酸イオンの定量

採取した水の硝酸イオンの定量を行った。2.4.2項と同様の手順で行った。

2.7.2 リン酸イオンの定量

採取した水のリン酸イオンの定量を行った。2.4.4項と同様の手順で行った。

2.7.3 COD（化学的酸素要求量）の測定^⑩

CODとは水中の有機物を酸化剤で酸化するのに消費される酸素の量で、水質汚濁の指標である。JIS K 0102によって測定を行った。

2.8 作物への影響

2.8.1 用いたポリエステルアミン

ポリエステルアミンは、平成16年4月27日から、7月13日の77日間、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターの水路に浸漬した。

水路から引き上げたポリエステルアミンは、付着した微生物の死滅がないように、水路の用水に浸漬したまま周囲から冷水で冷却した状態で2日間保管後、7月15日に土中にすき込んだ。

2.8.2 土中へのすき込み方法

土中へのすき込み方法を、図6および表1に示す。

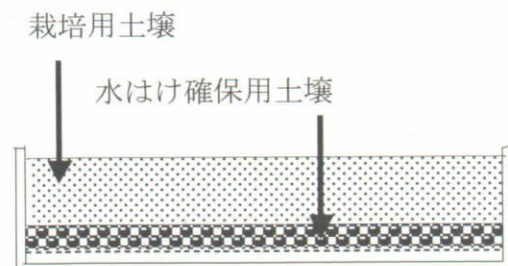


図 6. 土中へのすき込み方法

表 1. 土中へのすき込み条件

プランター番号	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	単位
培養土+赤玉土	6.4	6.4	6.2	6.2	6.0	6.0	
栽培用土壌							
吸着樹脂	0	0	0.2	0.2	0.4	0.4	
計	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	kg
水はけ確保用土壌	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
合計	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	
播種							
そば	20	20	20	20	20	20	個
小豆	10	10	10	10	10	10	

縦 600 mm, 横 180 mm, 高さ 180 mm のプランターに, 水はけ確保用土壌として, プランター下部に赤玉土 (中粒) を 1.5 kg 入れ, 栽培用土壌として, 培養土と赤玉土 (小粒) を 50 : 50 (重量比) に混合した用土を入れた。培養土は, 園芸用土として広く園芸店等で販売されているものを用いた, その培養土の組成 (重量比) は, ピートモス : 55%, 赤玉土 : 25%, バーク肥料 : 15%, その他 : 5% であった。その栽培用土壌中に, 2.8.1 項で得られたポリエステルアミンを 1 cm 四方のサイコロ状に切断し, 均等にすき込んだ。すき込む量は, 1 プランター当たり, 0, 0.2, 0.4 kg の 3 種とした。浸漬ポリエステルアミンを含む栽培用土壌の量は, 1 プランターあたり 6.4 kg と同一重量として, 水はけ確保用土壌を合わせた重量は 7.9 kg とした。各種 2 個ずつプランターを設けて, 計 6 個のプランターで検討を行った。

2.8.3 栽培方法

ポリエステルアミンのすき込み, 播種は, ポリエステルを水路から引き上げた 2 日後の 7 月 15 日に行い, 1 プランターあたりソバ 20 粒, 小豆 10 粒を播種し, その後の発芽率, 成長状態, 結実量観察した。また, 各プランターから, ソバ, 小豆各々 5 枚の葉の色彩を測定した。装置は, ミノルタ製色差計 CM2002 を用いた。

3. 結果

3.1 ポリエステルアミンの調製

3.1.1 ポリエステルアミンの形状観察

図 7 に調製したポリエステルアミンの外観を示す。No 1 は非発泡のブロック状であるが, 重合過程での減圧脱水により, ポリエステルアミン全体としては気泡を含む形状であった。一方, 強制的に発泡させたものは (No 2, 3), 均一に連続気泡が入ったスポンジ状になっていることが確認できた。



No. 1



No. 2



No. 3

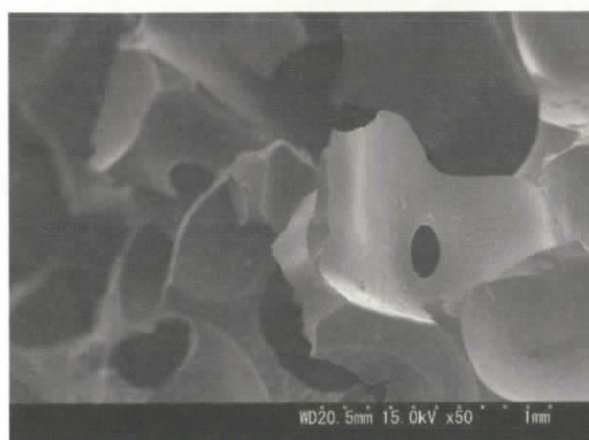
図 7. ポリエステルアミンの外観写真

3.1.2 ポリエステルアミンの SEM 観察

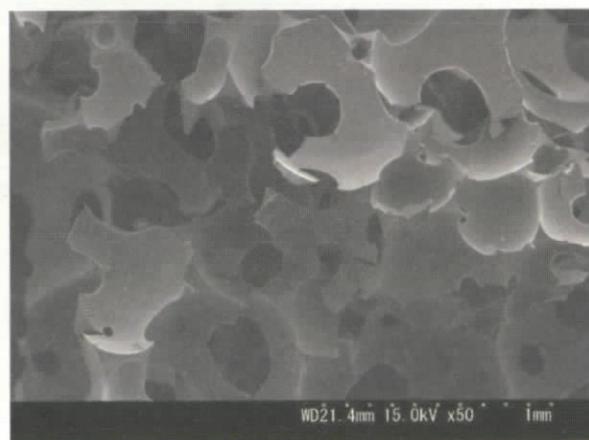
調製したポリエステルアミンの SEM 観察写真を図 8 に示す。No 1 では、脱水に伴う大きな気泡が表面上に目視で確認できたが、SEM 観察においては、ポリエステルアミン自体の表面は連続的であり、比較的厚い骨格を持っていることが確認できた。一方、発泡状の No 2, 3 では、その発泡倍率に基づいて、大きさの異なる気泡が連続気泡として確認できた。発泡倍率の高い No 3 においては、No 2 に比べて気泡の大きさが小さくなっていることが確認できた。このことにより、ポリエステルアミンを発泡化できることが明らかとなった。発泡状である No 2 あるいは No 3 では大きい接触面積が確保できることになり、また、後述するように、生分解において、常に新しい表面が露出し、気泡内での微生物の繁殖にも寄与することが推察される。



No. 1



No. 2



No. 3

図 8. ポリエステルの SEM 観察写真

緒言でも述べたように、このような発泡状ポリ(エステル)アミンは、粘弾性相分離の結果形成されたものであり、薄い骨格と大きな貫通細孔を有する特徴的な構造となっている。通常、液体クロマトグラフィーでこのような媒体を分離媒体として用いる場合には、この貫通細孔に移動相を流して行うが、環境水のように多くの粒子や微生物を含む液体が貫通細孔を通過させるのは困難である。事実、ミクロンサイズの細孔を有するフィルターを用いて環境水をろ過する場合、ろ過開始後極めて早い段階で、フィルターの目詰まりによりろ過が困難になることは周知である。このため、本吸着媒体は、環境水を通過させるのではなく、表面に緩やかに当てることにより、広い表面積にあるナノ吸着点（本媒体の場合イオン交換基）と接触させて環境水中の目的物質を吸着するという方法を取った。

3.1.3 得られた4級化ポリ(エステル)アミンのイオン交換容量の測定

今回のイオン交換基の導入は、トリエタノールアミンに由来する窒素原子を塩酸処理で4級化し、生成するアンモニウム塩をアニオン交換体として用いた。ブロック状のポリ(エステル)アミンの場合、蛍光X線測定において70%以上、また、発泡状ポリ(エステル)アミンでは中和滴定法で90%程度の4級化が達成されたことを確認した。このとき、イオン交換容量は3-4 meq/gと計算され、この値は市販の同型のアニオン交換型樹脂（アンバーライト）と比較しても遜色の無い値であった。

3.2 塗布型とブロック状のバッチ法による比較 (2.4 項)

ブロック状に調製した吸着媒体と、そのブロック状の媒体をシリカゲル表面に塗布した粒子型の吸着媒体での吸着実験について、図 9 に硝酸について、図 10 にりん酸についての結果を示す。

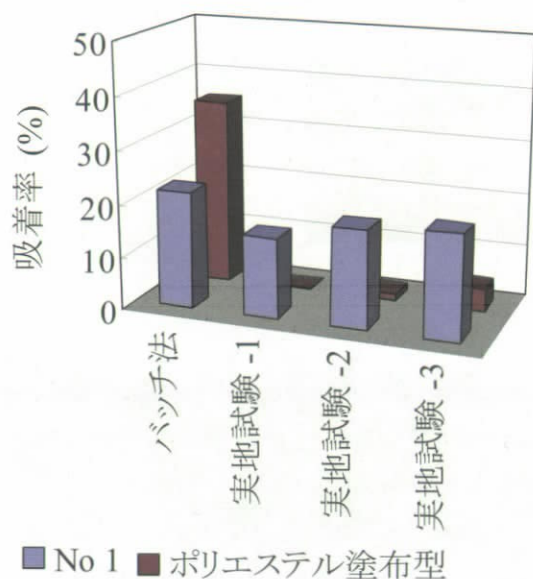


図 9. 硝酸

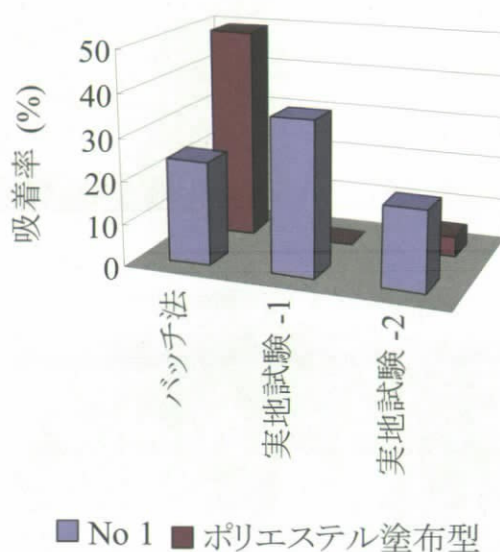


図 10. りん酸

バッチ法においては充分なかくはんが確保されているため、粒子状の吸着媒体で、硝酸に関しては、35.3%，リン酸に関しては49.9%の吸着率が得られた。しかしながら表面積の小さなブロック状の吸着剤の場合には、硝酸で22.1%，リン酸で24.4%と低い値となった。この結果は、通常の実験室レベルにおいては、予想通りの結果であり、粒子状として表面積を大きくした方が有利であることが分かる。また、シリカゲルに塗布した場合でも、ブロック状で重合した場合においても、重合が比較的厚い骨格内で進行するために、分子の配向が粘度により阻害された結果、より大きなリン酸に対する吸着能が十分に確保されていることが分かった。このネットワーク状のイオン交換樹脂においては、用いるジカルボン酸の分子の大きさを変化させることにより、分子の配向状態が変化し、それにより、イオン交換能に分子選択性が生じることが分かっていることから^⑨、重合の状態を変化させることにより、対象とするイオンに対する選択性を発現させることが可能であることも明らかとなった。

一方、これら2種類の吸着媒体を実際の環境水中で試験的な吸着実験に用いたところ、粒子状の吸着媒体の場合、平均で2%程度、一方のブロック状吸着媒体の場合で、約18%の吸着率が硝酸に対して得られた。充分にかくはんのあったバッチ法での吸着実験では、粒子状の吸着媒体が効率よく機能したために高い吸着率を与えたが、実環境水の中のように、単に粒子状の樹脂を静置した状態では、十分に水との接触が得られないために、このような低い吸着率になったものと考えられる。このことから、一般的に用いられているような粒子型のイオン交換樹脂を実環境で用いるのは効率が良くないことが分かった。

3.3 ブロック状と発泡状ポリエステルアミンの吸着速度の測定

ブロック状の吸着媒体と、発泡状の吸着媒体の吸着初期速度を比較するために、バッチ法において、吸着開始後 30 分における吸着率の比較を行った。測定結果を表 2 に示す。No 1, 2, 3 と発泡倍率が増加するごとに、硝酸における吸着初期速度が速くなることが確認出来た。このことから、発泡倍率を上げて水との接触面積を大きくすることにより、吸着の速度も速くなることが確認された。ただ、発泡倍率の高い No 3 においては、樹脂をマット状に成形した場合に十分な強度が得られないために、実際の吸着実験においては、No 2 の発泡倍率のものをを用いた。

表 2. No 1, 2, 3 の初期吸着速度

	硝酸イオン濃度 (ppm)	吸着率
	5.3	—
1	5.0	0.06
2	4.5	0.15
3	4.1	0.21

3.4 実地試験における測定結果

硝酸とりん酸の測定結果を図 11 に示す。

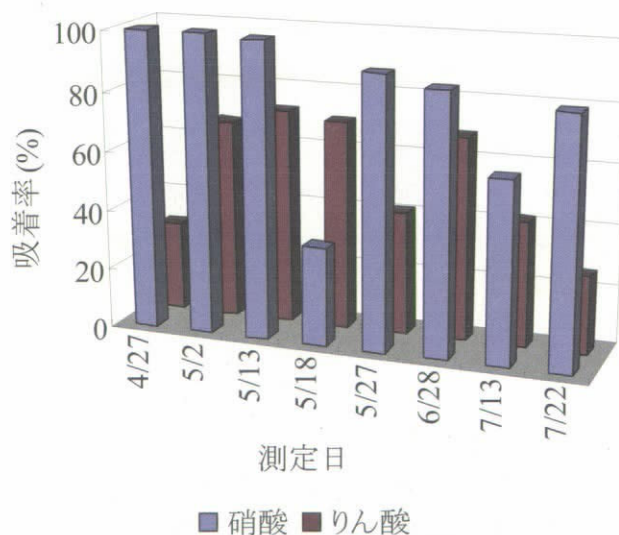


図 11. 実地試験の測定結果

3.4.1 硝酸イオンの定量

測定時期によって幾分ばらつきはみられるが、硝酸では吸着剤マット設置直後からほぼ 100%の吸着量が得られた。葉山川の年間の平均硝酸態窒素量はほぼ 1.5 ppm 程度である。全体で見ると、90 日経過時点でも 80%以上の高い吸着能が硝酸に対して得られていることが確認できる。全部のデータを含めた平均吸着率は 81%であった。この値は、市販されている吸着媒体と比較してもかなり大きな吸着率であることが分かる。これは発泡状の樹脂を用い、水を通させるのではなく樹脂面に複数回当てる方法を

採用したためであり、また、90日間という長期にわたり高い除去率が確保できたことは注目に値する。

3.4.2 リン酸イオンの定量

リン酸では、樹脂設置1週間ほどで効果が現れ、60%以上、70%程度の高い吸着率が得られた。葉山川の年間の平均リン濃度は約0.1 ppm程度である。リン酸に対する吸着率においても、30日ほどに一度測定値の落ち込みがみられるが、70日経過時点でも70%程度、90日で約25%程度の吸着率が得られた。90日経過時点では、樹脂マットがかなり分解で減少し、樹脂面に隙間ができ、このため十分な水との接触が行われなかった可能性もある。全データを含めたリン酸に対する吸着率は平均で52%であり、この値は、市販の吸着媒体と比較しても良好な値であると言える。特に、リン酸の場合、微生物の分解サイクルには入らないために、吸着除去をすることが好ましい。

3.4.3 COD（化学的酸素要求量）の測定

葉山川の年間の平均COD値は4-5 mg/L程度であるが、今回測定したCODは樹脂マット投入初期の値を除いて平均6 mg/L程度で、極端な上昇は見られなかった。このことから、樹脂の加水分解による水質の汚染はほぼ無視できるものと考えられ、一方で、吸着剤マットは量的に減少していることから、微生物による酸化的な分解が行われ、酸素源として硝酸が還元的に除去されたものと推察できる。今回、活性汚泥を利用した樹脂の生分解度の測定^⑨を行っていないが、測定により総量の収支が明確になると考えられる。

3.4.4 浸漬後のポリエステルアミン観察

図12に使用後（約3ヶ月）の吸着剤マットの表面のSEM観察を示す。No 4は水に当たっていた吸着剤マットの面から採取したもので、No 5は、吸着剤の端（パンの耳の位置に相当）である。吸着剤マット面はほぼ浸ける前の色と同じであり、厚みが減っていた程度であったが、パンの耳の位置は全体に茶色くなり、端から分解も進行していた。表面観察では、マット面には種々の微生物だけではなく、菌体も確認できたが、樹脂面はまだ十分に綺麗に保たれ、吸着に障害を与えないことが推察できる。一方、マット端では珪藻が多く観察され、表面が覆われていることが確認できる。樹脂色の茶色への変色はこの珪藻の繁殖が原因となっていることが推察された。ブロック状の樹脂を水路に浸けた場合では、樹脂表面が一様に茶色に変色していることから、この場合と同様に表面が珪藻などで覆われて、最終的には全体的に分解が進み最終的にドロドロの状態となり内部の吸着点が有効に機能しなくなったが、発泡状にしたマットではそのようなことにはならず、綺麗に分解が進行し、4ヶ月ほどで、ほぼ完全に分解されるということが確認できた。また、発泡倍率の高い（例えばNo 3）を実環境水中で吸着に用いた場合には、表面に緑藻の繁殖が観察された。

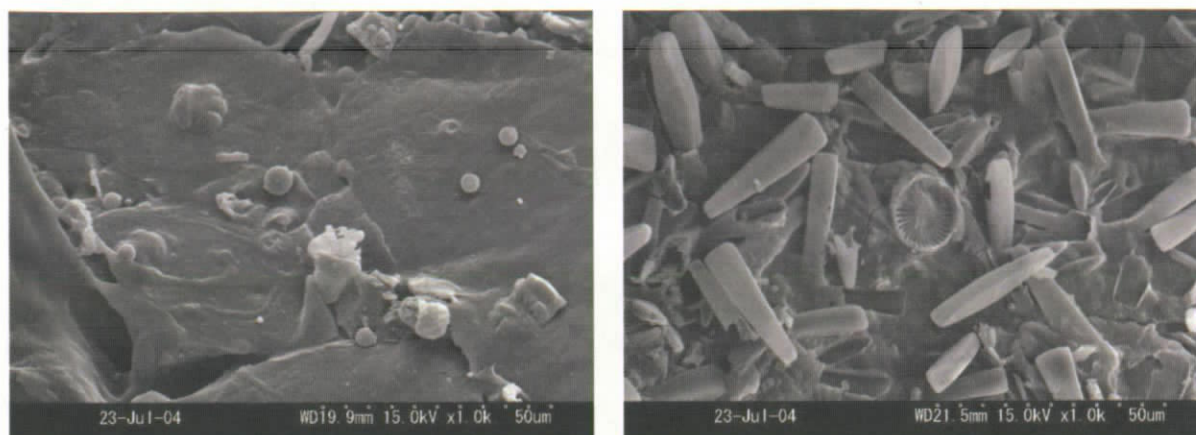


図 12. 浸漬後のポリエステルアミンの SEM 観察写真

3.5 作物への影響

3.5.1 発芽率

播種 7 日目 (7 月 22 日) の発芽率は、ソバに関してはすき込み量 3 種共、発芽率 100%，小豆に関してはすき込み量の少ない順に 95%，90%，90% で有意と思われる差は見られなかった。

3.5.2 成長状態

播種 4 日目，7 日目，12 日目，20 日目に背丈を測定したが有意と思われる差は見られなかった。更に，8 月 23 日 (播種 39 日目) に，各プランターから，ソバ，小豆各々 5 枚の葉の色彩を測定した。

色彩測定について，国際照明委員会 (Commission International de l'Eclairage, 略称: CIE) では，色を数値で表わす方法として，色の 3 属性である，色相，明度，彩度を用いた表色系を制定した。これは，日本でも JIS (JISZ8729) において採用されている。L*a*b* 表色系は，現在あらゆる分野で最もポピュラーに使用されている表色系で，明度を L*，色相と彩度を示す色度を a*，b* で表す。その際，色素: ΔE ，L*1: 基準 (standard) 色の L*，L*2: 比較色の L*，a*1: 基準色の a*，a*2: 比較色の a*，b*1: 基準色の b*，b*2: 比較色の b* として，

$$\Delta E = \sqrt{(L^*1 - L^*2)^2 + (a^*1 - a^*2)^2 + (b^*1 - b^*2)^2}$$
 により算出した。

実際の測定結果 (L*，a*，b*) (5 枚の平均値) をそばについては表 4 に，小豆については表 5 に示す。表 4，5 から，葉の色彩は，すき込み量が増えるにつれて，ソバ，小豆共に，L* は次第に小さく，a* は次第に大きく，b* は次第に小さくなっていることがわかる。このことは，葉の色彩が，すき込み量が増えるにつれて黄緑色から濃緑色に変化していることを示している。葉の成長は，窒素に依存するため，この結果は窒素の吸着効果と考えられる。

表 4. そばについての色彩測定

共試料	*L	*a	*b	ΔE
基準色	46.45	-18.02	32.30	-
1-1	46.71	-17.95	31.24	1.10
1-2	46.19	-18.09	33.36	1.09
平均値(1-1, 1-2)	46.45	-18.02	32.30	1.09
2-1	42.75	-18.51	26.31	7.06
2-2	43.65	-17.92	28.03	5.11
平均値(2-1, 2-2)	43.20	-18.22	27.17	6.08
3-1	38.24	-15.82	20.29	14.71
3-2	33.94	-12.56	15.29	21.81
平均値(3-1, 3-2)	36.09	-14.19	17.79	18.26

表 5. 小豆についての色彩測定

共試料	*L	*a	*b	ΔE
基準色	46.94	-18.83	31.80	-
1-1	46.46	-18.48	30.68	1.26
1-2	47.41	-19.17	32.92	1.27
平均値(1-1, 1-2)	46.94	-18.83	31.80	1.26
2-1	46.05	-18.00	29.71	2.42
2-2	39.96	-15.70	22.59	11.96
平均値(2-1, 2-2)	43.01	-16.85	26.15	7.19
3-1	40.47	-15.04	19.87	14.08
3-2	37.89	-13.32	18.48	17.02
平均値(3-1, 3-2)	39.18	-14.18	19.18	15.55

3.5.3 結実量

播種 95 日目 (10 月 18 日) に収穫し、結実重量を測定した。その測定結果からは、すき込み量との相関は明確ではなく、かつ、結実量が少なかった。このことは以下によると考えられる。

一般に、極暑に向かう 7 月 15 日に播種することは、ほとんどの作物にとって適期を逸している。特にソバは、関東地区ではお盆前後 (8 月 15 日前後) に播種するのが適期と言われており、7 月 15 日の播種は結実量の観察には不適であったこと、更にプランターによる少量栽培であり、茎の倒壊等によるバラツキが大きくなっていること、などの要因によって、今回の結実量からはすき込み量の影響の判定は無理であると考えられる。以上より、発芽率、成長状況から見て、少なくとも悪影響はみられなかった。

4. まとめ

ナノ分子認識部位を有する発泡状生分解性樹脂において、実環境水中で約3ヶ月間、硝酸およびリン酸に対して高い吸着能を継続して示すことが確認できた。単なるバルク状の吸着媒体では、直ぐに表面が不活性化され、継続的な吸着機能が阻害されたことから、微生物が発泡状樹脂を表面から分解し、これによりナノ分子認識部位を常に活性化し続ける効果を発現していることが明らかとなった。バルク状の樹脂に堆積するものは、珪藻やSSと呼ばれるミクロンサイズのものであるが、これをナノ分子認識部位を有するミクロンサイズの発泡表面に配置することにより、これらの堆積をさけつつ、常に新しいナノ界面として機能させることが出来た。つまり、ミクロンサイズの功罪ということになる。この間、CODの大幅な上昇は認められなかった。今検討において、ナノテクと実際の環境試料の分析、分離というほど遠いフィールドでの接点を見出したといえる。

浸漬後の吸着剤を土壌に混合して作物栽培に用いたとき、作物に影響は見られなかった。これらの吸着媒体は、富栄養化成分を含有したまま土壌改良剤として利用も可能であることが示唆された。

5. 参考文献

- ① T. Araki, H. Tanaka, *Macromolecules*, 34, 1953 (2001)
- ② H. Tanaka, *Phys. Rev. Lett.* 71, 3158 (1993)
- ③ H. Tanaka, T. Araki, *Physical Review Letters*, 78, 4966 (1997)
- ④ T. Kiyotsukuri, N. Tsutsumi, H. Okada, M. Nagata, *Polymer*, 33, 4990 (1992)
- ⑤ M. Nagata, T. Kiyotsukuri, H. Ibuki, N. Tsutsumi, W. Sakai, *Reactive and Functional Polymers*, 30, 165 (1996)
- ⑥ M. Nagata, H. Ibuki, W. Sakai, N. Tsutsumi, *Macromolecules*, 30, 6525 (1997)
- ⑦ M. Nagata, T. Machida, W. Sakai and N. Tsutsumi, *Macromolecules*, 31, 6450 (1998)
- ⑧ M. Nagata, Y. Kono, W. Sakai and N. Tsutsumi, *Macromolecules*, 32, 7762 (1999)
- ⑨ 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 高分子学専攻 機能高分子設計研究室 平成11年度 諸岡 隆 修士論文
- ⑩ 島津応用データ集
- ⑪ JIS K 0102, 工場排水試験方法 (1964)
- ⑫ JIS K 6950, プラスチック-活性汚泥による好氣的生分解度試験方法 (1994)

出展：「分析化学 54 巻 6 号 pp509-519」(社団法人 日本分析化学会転載許可)

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長

柳田 英俊

実験センター主任研究員

和田 桂子

京都工芸繊維大学繊維学部高分子学科

助教授

細矢 憲

(実験協力者)

日立化成オートモーティブプロダクツ株式会社

部長

小瀬 良治

日立化成工業株式会社

複合材開発グループ

菅井 良政

8. 自然循環方式浄化実験

1. 目的

自然循環方式浄化実験施設は、水田の持つ自然の浄化機能を手本としており、本来自然が持っている物質循環の自然浄化機能を活かし、木炭や枯れ木、石などの自然の素材に加工を施したろ材に生物の定着を促すことを主体とした浄化装置として設計されている。

本施設は、平成11年4月13日より通水を開始し実験・調査を行っており、生活排水汚濁水路を対象として開発され実用化されている自然循環方式の河川水（汚濁物質が低濃度である水）及び代かき期間中に流出する農業排水の浄化能力の把握と、浄化能力の向上を目的としている。

昨年度は、処理対象水を河川水に絞り、T-Nの除去能力の向上を主目的として実験を行った。T-Nの除去能力の向上の対策として、微生物の栄養源として廃棄物等を利用した有機物添加による窒素除去能力の向上を目的とし、その初期段階として、メタノール添加を実施し、その後、精麦時に発生する麦ヌカを微生物の栄養源とした添加実験を行った。

本年度は、昨年度に引き続き麦ヌカ添加の添加実験を行った。本年度実験は昨年実験の継続試験のため、昨年度実施した内容とともに以下に記載する。

2. 実験の概要

2.1 実験施設の概要

施設の概略図を図2-1に示す。

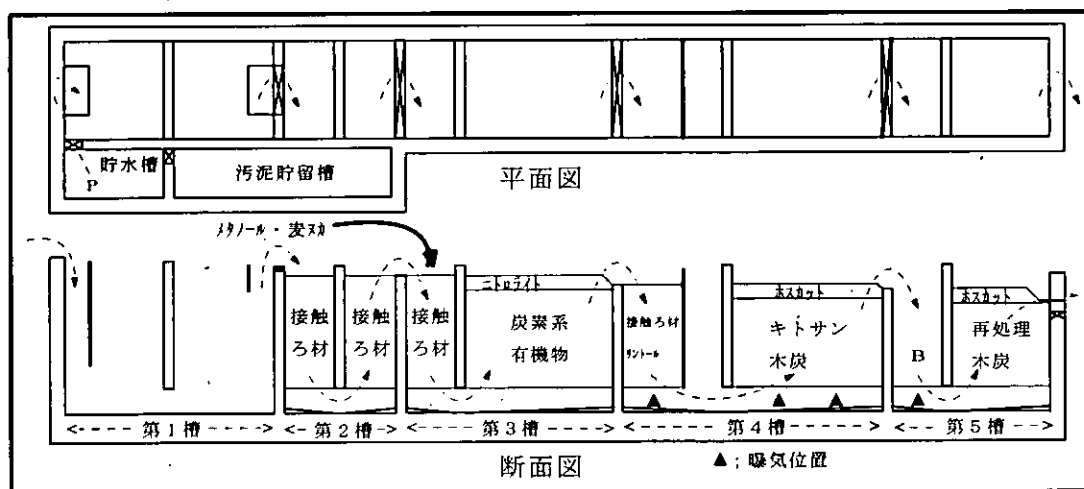


図2-1 施設概略図

2.2 実験条件

2.2.1 通水開始日

平成 11 年 4 月 13 日

2.2.2 浄化対策水

葉山川河川水

平成11年 4月13日～平成11年 4月21日

平成11年 4月21日～平成11年 5月 5日

平成11年 5月 5日～平成12年 4月28日

平成12年 4月28日～平成12年 5月 5日

平成12年 5月 5日～平成17年 3月31日

葉山川河川水

農業排水路水

葉山川河川水

農業排水路水

葉山川河川水

2.2.3 設定処理量

150m³/日

平成11年 4月13日～平成11年 8月18日

平成11年 8月18日～平成12年 3月29日

平成12年 3月29日～平成12年 8月17日

平成12年 8月17日～平成13年 6月18日

平成13年 6月18日～平成17年 3月31日

50m³/日

100m³/日

150m³/日

200m³/日

150m³/日

2.2.4 メタノール及び麦ヌカ添加条件

(1) メタノール及び麦ヌカ添加量

平成14年 8月28日～平成14年10月30日

平成14年10月30日～平成14年12月19日

平成14年12月19日～平成15年 3月31日

平成15年 5月13日～平成15年11月 5日

平成15年11月25日～平成16年 4月30日

平成15年 6月30日～平成16年 9月30日

メタノール 450g/日 (3.0mg/l)

メタノール 675g/日 (4.5mg/l)

メタノール 1350g/日 (9.0mg/l)

メタノール 2250g/日 (15.0mg/l)

麦ヌカ 2550g/日 (17.0mg/l)

麦ヌカ 2550g/日 (17.0mg/l)

(2) 添加位置

添加位置を図 2-2 に示す。

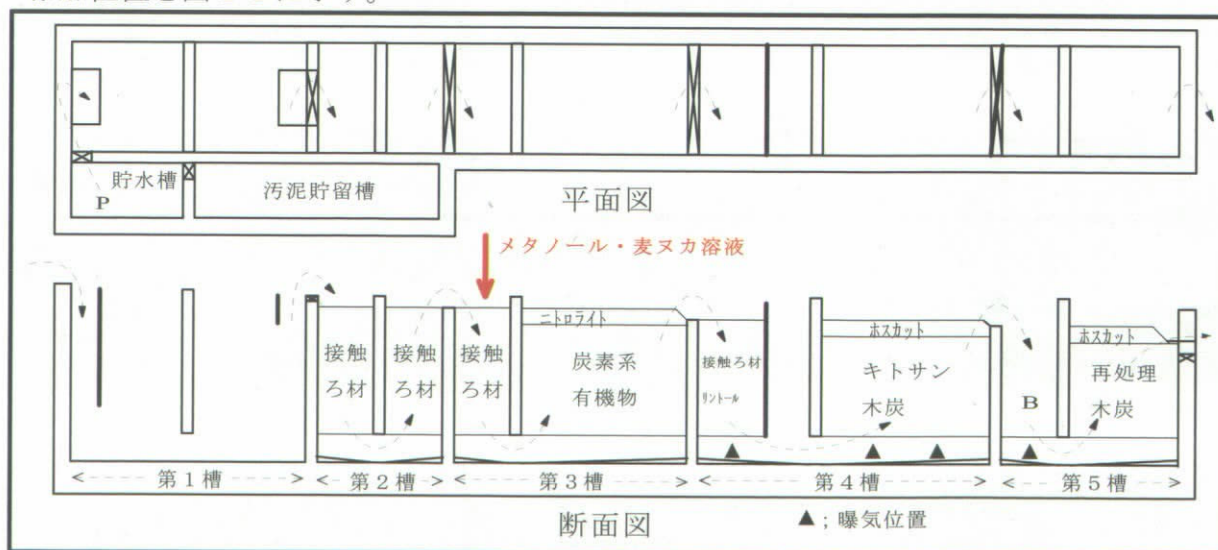


図 2-2 添加位置

(3) 添加方法

① メタノール

水道水により2倍希釈した溶液を薬注ポンプにて連続添加

② 麦ヌカ

麦ヌカ自体は粉体であるため、連続的に添加することが容易ではない。そこで、麦ヌカを水道水で溶解・分解させ、その溶液を添加することとした。水道水により分散させた溶液を約30分毎に1回添加することとした。



図 2-3 添加装置

(4) 麦ヌカの栄養源としての能力

麦ヌカのBOD含有量及び窒素・リン量の分析結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 麦ヌカ分析結果

	湿試料 含有 BOD 量 (g/kg)	湿試料 含有 T-N 量 (g/kg)	湿試料 含有 T-P 量 (g/kg)
麦ヌカ (仕上)	529	16	7.23
麦ヌカ	152	—	—

2.2.6 維持管理

(1) 槽内洗浄・汚泥返送

平成 11 年 7 月 16 日
平成 12 年 2 月 17 日
平成 12 年 7 月 27 日
平成 12 年 12 月 22 日
平成 13 年 6 月 6 日
平成 13 年 6 月 18 日

平成 13 年 10 月 29 日
平成 14 年 8 月 28 日
平成 15 年 2 月 4 日
平成 15 年 11 月 6 日
平成 16 年 1 月 6 日
平成 16 年 4 月 15 日

(2) 汚泥系外搬出

平成 15 年 2 月 4 日の 1 回のみ

	平成11年度												平成12年度												平成13年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
浄化対象水	農業排水路 葉山川河川水												農業排水路 葉山川河川水												葉山川河川水											
設定処理水量	30m ³ /日 100m ³ /日												150m ³ /日 200m ³ /日												150m ³ /日											
設定返送水量																									30m ³ /日											

	平成14年度												平成15年度												平成16年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
浄化対象水	葉山川河川水												葉山川河川水												葉山川河川水											
設定処理水量	150m ³ /日												150m ³ /日												150m ³ /日											
設定返送水量	30m ³ /日																																			
メタノール添加量	3mg/l												4.5mg/l												17mg/l(麦ヌカ)											
													9mg/l												15mg/l											

図2-4 タイムスケジュール

3. 浄化能力調査内容

3.1 水質調査

週1回の現地での日常簡易測定と月1回の定期水質調査を実施。
それぞれの調査内容の概要について以下に示す。

3.1.1 日常簡易測定

(1) 水質測定地点

流入水及び流出水

(2) 測定項目

水温, T-N, 気温

3.1.2 定期調査

(1) 水質調査地点

図3-1に調査地点を示す。

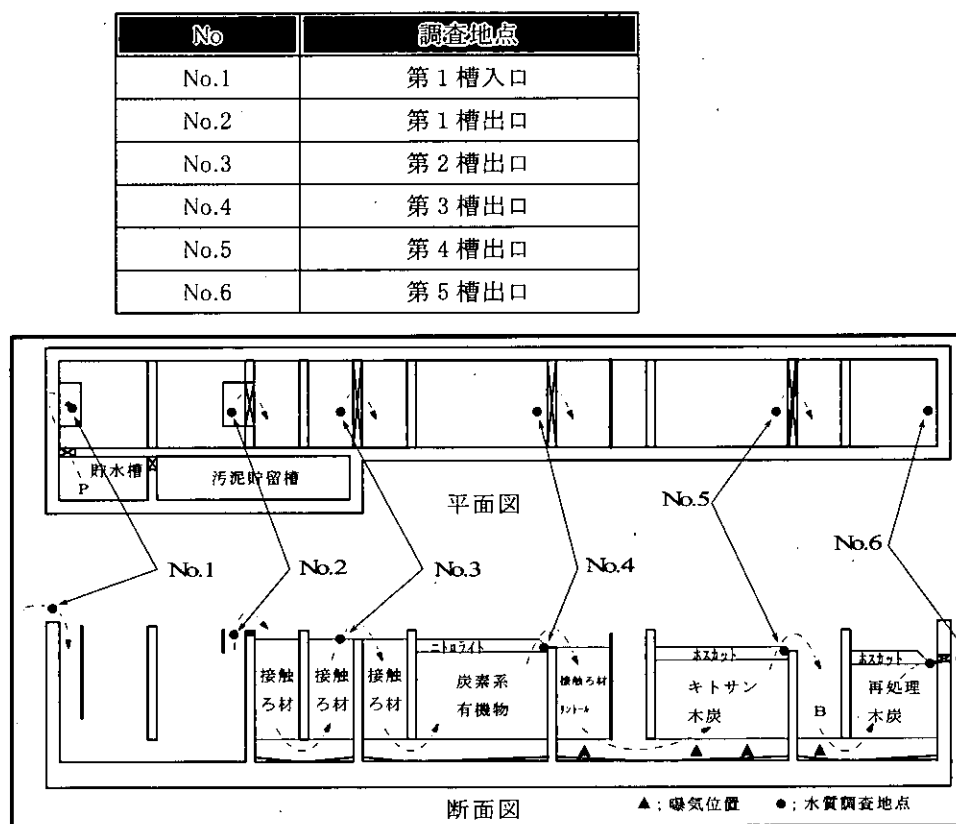


図 3-1 水質調査地点

(2) 調査項目

① 現地測定

水温, pH, EC, DO, 透視度, ORP, (天候, 気温, 水量, 各槽水位差)

② 水質分析

調査日の9:00~15:00に、2時間間隔にサンプル採取し地点ごとにコンポジットしたものについて分析を実施。

「水質分析項目」

SS, COD, BOD, T-N, D-T-N, NH₄-N, NO₂-N,
NO₃-N, T-P

4. 調査結果

4.1 水質経日変化

定期調査結果を表4-1に示す。

表 4-1 定期調査結果

調査日	天候	流量 (m ³ /日)	麦ヌカ添加量 (mg/l)	調査 地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	D-T-N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	T-P (mg/l)
04.04.14	晴	150	17	No.1	16.4	4.5	3.2	1.32	0.98	0.25	0.02	0.34	0.08
04.04.14	晴	150	17	No.2	11.6	-	2.5	1.10	0.93	0.32	0.02	0.36	-
04.04.14	晴	150	17	No.3	3.0	-	1.9	1.04	0.98	0.18	0.02	0.52	-
04.04.14	晴	150	17	No.4	3.6	-	3.3	1.46	0.84	0.33	0.04	0.24	-
04.04.14	晴	150	17	No.5	2.1	-	1.9	1.10	1.09	0.16	<0.01	0.78	-
04.04.14	晴	150	17	No.6	<1.0	2.5	0.7	1.13	1.10	0.07	<0.01	0.86	0.16
04.07.06	晴	150	17	No.1	13.2	5.9	1.4	0.99	0.70	0.15	0.04	0.30	0.08
04.07.06	晴	150	17	No.2	24.6	-	1.5	1.07	0.77	0.24	0.04	0.36	-
04.07.06	晴	150	17	No.3	8.2	-	0.8	1.13	0.80	0.13	0.03	0.53	-
04.07.06	晴	150	17	No.4	8.0	-	1.0	0.78	0.51	0.03	0.03	0.20	-
04.07.06	晴	150	17	No.5	7.8	-	<0.5	0.60	0.47	<0.01	<0.01	0.35	-
04.07.06	晴	150	17	No.6	1.6	2.9	<0.5	0.60	0.49	0.02	<0.01	0.36	0.14
04.08.04	曇	150	17	No.1	15.0	7.3	1.0	1.15	0.96	0.20	0.06	0.64	0.14
04.08.04	曇	150	17	No.2	30.6	-	1.4	1.37	1.07	0.32	0.05	0.66	-
04.08.04	曇	150	17	No.3	10.4	-	0.9	1.25	1.07	0.19	0.04	0.80	-
04.08.04	曇	150	17	No.4	4.0	-	1.2	0.72	0.71	0.13	0.08	0.22	-
04.08.04	曇	150	17	No.5	3.5	-	<0.5	0.66	0.62	0.03	<0.01	0.53	-
04.08.04	曇	150	17	No.6	<0.5	3.1	<0.5	0.60	0.60	0.03	<0.01	0.52	0.15
04.09.08	晴	150	17	No.1	7.2	8.4	1.0	1.11	0.79	0.10	0.02	0.47	0.07
04.09.08	晴	150	17	No.2	20.6	-	1.2	1.13	0.88	0.13	0.02	0.48	-
04.09.08	晴	150	17	No.3	7.0	-	0.9	1.16	0.84	0.09	0.01	0.55	-
04.09.08	晴	150	17	No.4	2.5	-	1.9	0.88	0.63	0.23	0.07	0.07	-
04.09.08	晴	150	17	No.5	2.7	-	<0.5	0.82	0.81	0.02	<0.01	0.57	-
04.09.08	晴	150	17	No.6	<1.0	4.4	<0.5	0.88	0.78	0.01	<0.01	0.62	0.15
04.10.01	晴	150	-	No.1	19.5	8.1	5.5	1.77	1.63	0.27	0.02	0.95	0.27
04.10.01	晴	150	-	No.2	34.8	-	4.7	1.96	1.63	0.23	0.02	1.06	-
04.10.01	晴	150	-	No.3	14.0	-	5.0	1.74	1.72	0.16	0.02	1.13	-
04.10.01	晴	150	-	No.4	8.3	-	5.0	1.43	1.26	0.26	0.03	0.50	-
04.10.01	晴	150	-	No.5	4.0	-	2.5	1.04	0.88	0.06	<0.01	0.65	-
04.10.01	晴	150	-	No.6	2.5	5.3	2.7	1.01	0.85	0.07	<0.01	0.65	0.20
04.11.10	晴	150	-	No.1	15.3	3.1	1.4	1.00	0.93	0.10	0.03	0.72	0.07
04.11.10	晴	150	-	No.2	21.2	-	1.5	1.14	1.10	0.18	0.04	0.76	-
04.11.10	晴	150	-	No.3	13.1	-	1.0	0.97	0.89	0.11	0.03	0.79	-
04.11.10	晴	150	-	No.4	8.2	-	1.0	1.00	0.93	0.10	0.02	0.80	-
04.11.10	晴	150	-	No.5	6.2	-	<0.5	0.98	0.93	0.04	<0.01	0.92	-
04.11.10	晴	150	-	No.6	4.5	2.2	0.7	1.13	1.09	0.02	<0.01	0.92	0.07

昨年度から引き続いて平成16年9月まで麦ヌカを連続添加し水質調査を実施した。なお、10月11月のデータは、麦ヌカ添加を停止した場合の影響を確認するために実施した。

麦ヌカ添加を停止した直後の10月のデータにおいても脱窒が認められる。これは槽内に若干量蓄積されていた麦ヌカの影響であると考えられる。

次に、本年度の定期調査結果から、各調査地点の窒素形態変化を栄養源無添加の平成13年、メタノール添加の平成15年度とともに図4-1に示す。

また、日常調査項目のT-N及び水温について、同様に、栄養源無添加とメタノール添加時とともに、夏期と冬季に分けて図4-2に示す。なお、栄養源無添加時のデータには、平成13年7月18日～9月15日（夏期）、平成14年1月5日～1月26日を、平成15年7月18日～9月14日（夏期）、平成15年1月11日～1月29日を、平成16年7月15日～9月17日（夏期）、平成16年1月9日～1月30日を用いた。

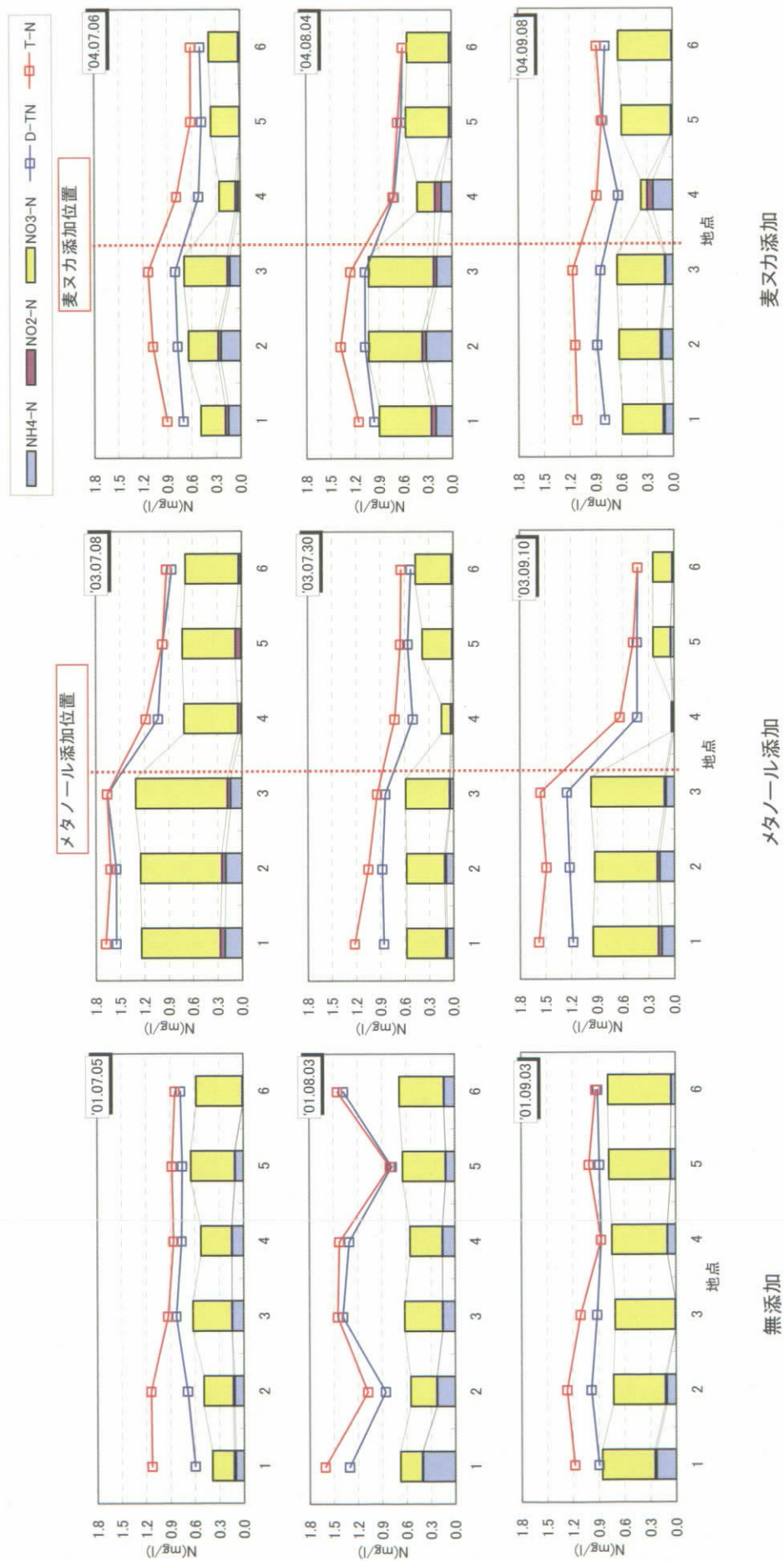


図 4-1 施設内における形態別窒素の変化

栄養源添加を行っていない時では、ほとんど窒素除去が認められない。それと比較すると、メタノールを添加していた時には調査地点 No. 3 から No. 6 にかけて、脱窒の傾向が認められる。もっとも顕著に脱窒が認められたのは、調査地点 No. 3 と No. 4 の間であった。同様に、本年度の麦ヌカ添加時にも、調査地点 No. 3 と No. 4 の間で脱窒が認められた。調査地点 No. 3 から No. 4 の間には、接触ろ材と炭素系有機物が充填されており、曝気を行わない条件で通水を行っている。このため嫌気雰囲気となり、脱窒がもっとも起こったものと考えられる。しかし、調査地点 No. 4 以降の曝気を行っている好気雰囲気下においても T-N の除去効果が確認できた。

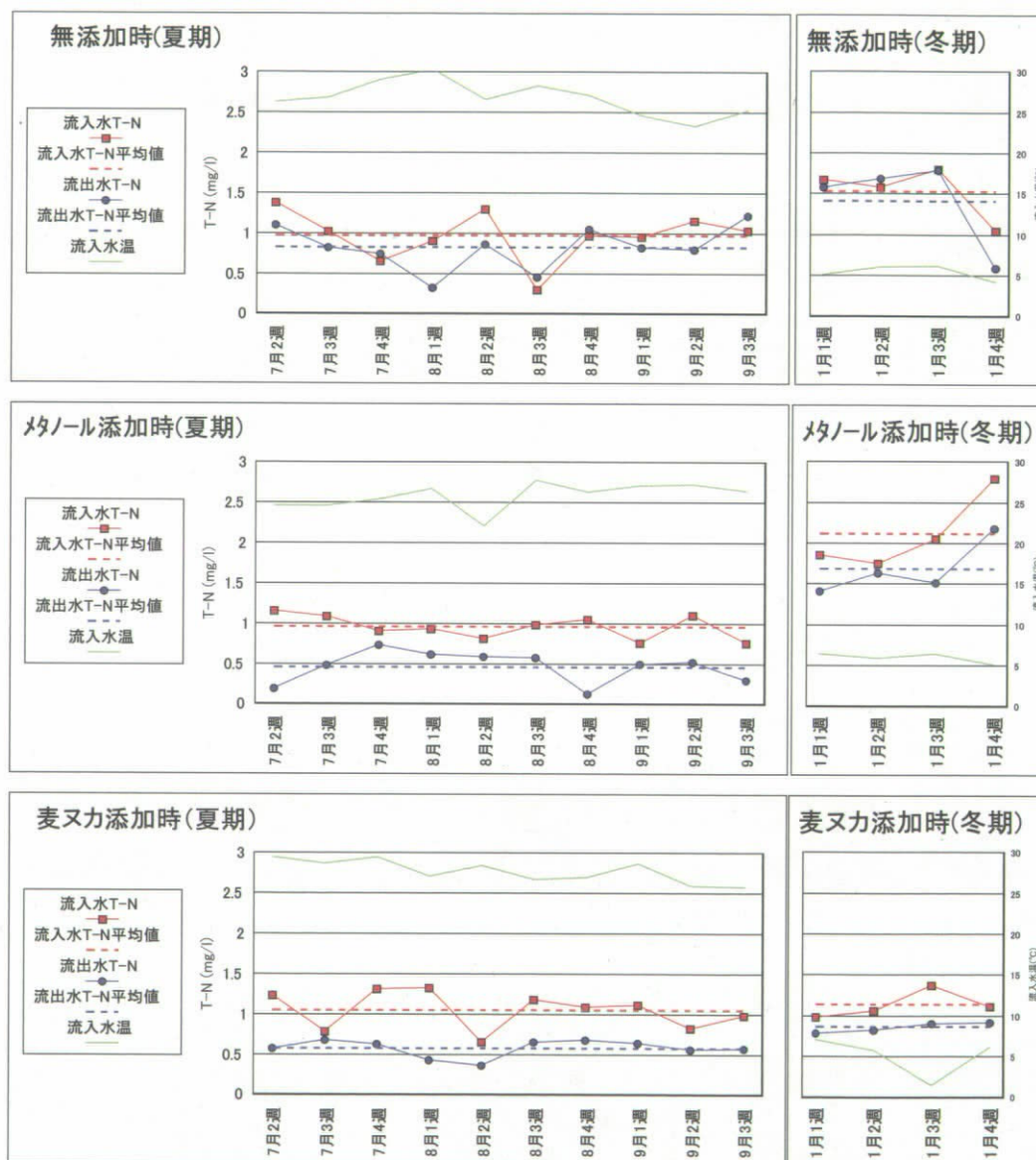


図 4-2 窒素の経時変化

夏期データでは流入水の T-N が約 1.0 とほぼ同じであるため、各条件での脱窒能力の差を除去率で比較することができる。図 4-2 のデータにおける除去率は、無添加時 15.3%、メタノール 2.25kg/日 (処理量 1m³あたり 15g) 添加時では、51.7%、麦ヌカ 2.55kg/日 (処理量 1m³あたり 17g) 添加時では、45.0%である。メタノール添加時がもっとも高い脱窒促進能力を示す結果となったものの、麦ヌカにおいても大きな脱窒促進効果が確認できた。

メタノール・麦ヌカとも添加量を多くすることで、脱窒能力をさらに向上させることが可能であると考えられる。

冬期のデータでは、流入水濃度に大きな差があるため、単純に除去率では比較できないものの、夏期と比較すると若干脱窒能力が落ちる傾向が見られた。

5. まとめ(評価)

麦ヌカを添加することにより、脱窒が促進されることが確認できた。その能力は添加重量あたりの脱窒促進能力で比較するとメタノールに若干劣るものの、無添加時と比較すると明らかな差が認められ、脱窒を促進させるための微生物の栄養源として有効であることがわかった。麦ヌカの添加量を多くすることで、さらに脱窒能力を向上させることが可能であると考えられる。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

東洋電化工業株式会社

実験センター所長

実験センター研究員

環境事業本部長

環境事業本部

柳田 英俊

和田 浩幸

高尾 圭一

三宮 秀治

9. 曝気循環付浮島方式による水環境改善実験

1. 実験の目的

本実験の目的は、バイオマニピュレーションの生態制御を利用して、水の透明度を向上させることである。水質汚濁の主要因である植物プランクトンの増殖を抑制するために、動物プランクトンの増殖・保護を促進させる装置により水質浄化を図るものである。

2. 実験の方法

2.1 予備実験：琵琶湖型池実験

琵琶湖型池において浮島の遮光割合大小、紐状接触材の有無など影響要因を変えることにより、浮島の遮光効果と紐状接触材の摂餌圧効果を把握することを目的とする。

遮水シートにより各隔離水塊を6つ（1つの大きさは $5\text{m} \times 5\text{m} \times 0.4\text{m}$ ）つくり、 $1.3\text{m} \times 1.3\text{m}$ の浮島と紐状接触材（ $50\text{本}/\text{m}^2$ 、 $L=0.3\text{m}$ ）を浮島に取付け、表2-1、図2-3に示す6ケースについて比較する。



図 2-1 琵琶湖型池の隔離水塊

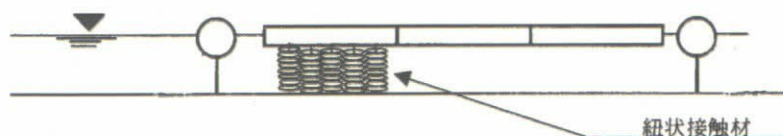


図 2-2 琵琶湖型池断面

表 2-1 琵琶湖型池における実験ケース

実験ケース	浮島（有無、面積）	紐状接触材（有無、密度）	備考
ケース 1	遮光 30%	無	遮光材を端に設置
ケース 2	遮光 15%	無	浮島を端に設置
ケース 3	遮光 15%	有 $50\text{本}/\text{m}^2$	"
ケース 4	無	有 $50\text{本}/\text{m}^2$	"
ケース 5	遮光 15%	無	遮光材を中央設置
ケース 6	無	無	コントロール

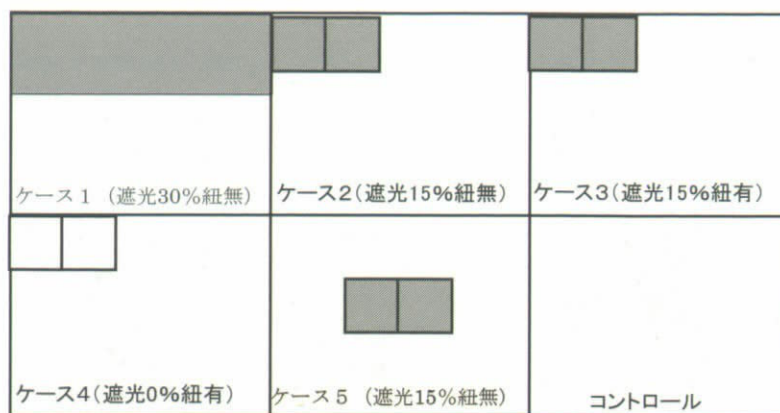


図 2-3 隔離水塊の全体概要図

2.2 本実験：深池実験

2ヶ仕切られた深池型実験施設の一つ水塊に、水を循環させる曝気循環装置と紐状接触材を取付けた浮島(遮光 25%)からなるシステム装置を設置し、一方の水塊はコントロールとし、各隔離水塊の水質変化を調査する。紐状接触材は 50 本/m²、L=1.5m のものを浮島に取付ける。池内の水は 20 日で 1 回の交換されるよう流入量をおよそ 0.5m³/h に設定した。なお、曝気装置にはコンプレッサーから 1.5L/min で送気し、装置からの発生する上昇流量は約 490~590m³/日とした。

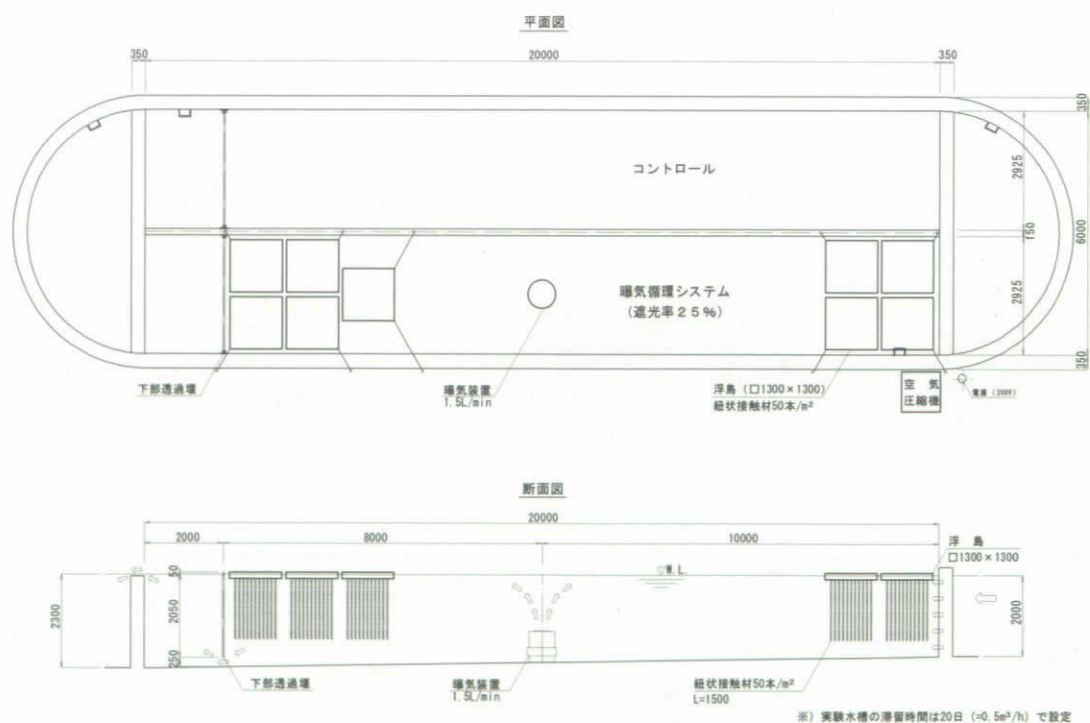


図 2-4 深池の実験池平面および断面

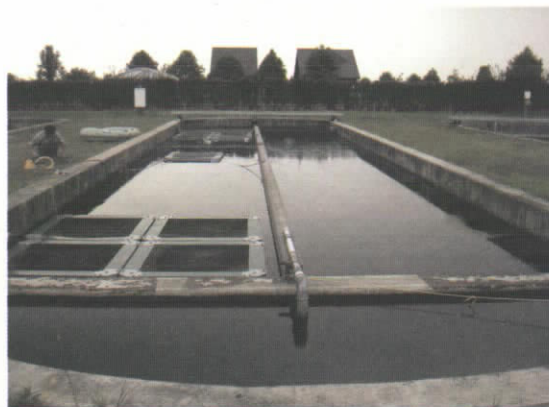


図 2-5 深池の実験池(左)とコントロール(右)

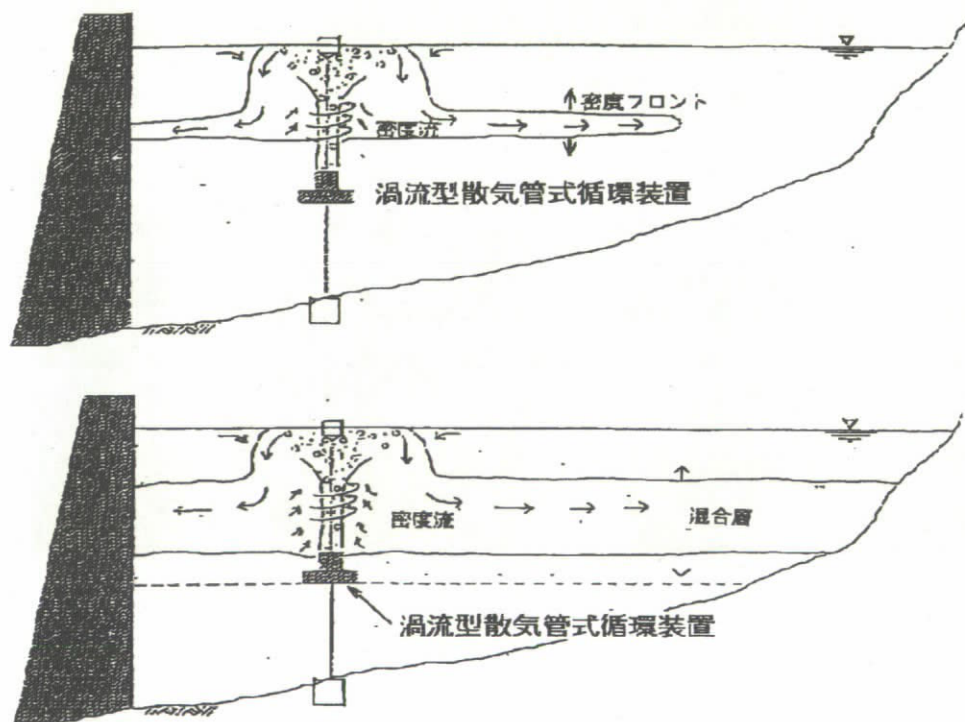


図 2-6 曝気循環装置による循環モード(上：循環初期、下：循環後期)

曝気循環装置の循環モードを図 2-6 に示す。陸上のコンプレッサーから水底に固定した曝気循環装置へ空気を送ると、気泡はジェットノズルから噴射され、水流管を通過して渦流を形成し、鉛直流として周囲の水を連行しながら浮上する。この浮上する水の動きに連動して、本循環装置周辺の水が引き込まれ、表層に持ち上げられる。この下層(装置周辺の水)からの水が表層の水と混合し、水平方向に密度流を発生させる。曝気を連続的に行うことにより上下層の循環を促し、植物プランクトンが有光層に長くとどまらないようにして、植物プランクトンの生産を抑制するものである。

2.4 実験機材の仕様

図 2-7 と表 2-2 ならびに図 2-8 に浮島、紐状接触材を、表 2-3 に曝気装置の仕様を示す。

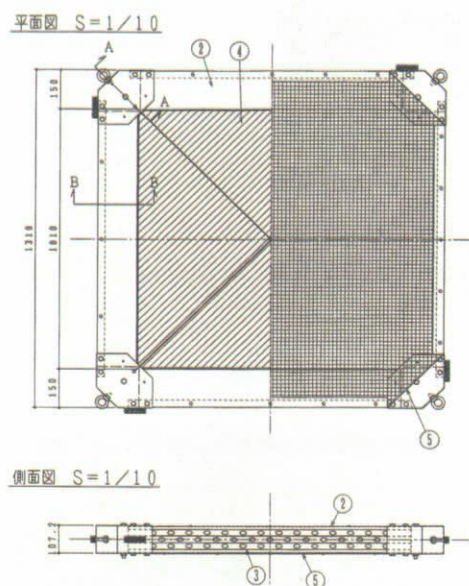


図 2-7 浮島平面および断面

表 2-2 浮島の仕様

(1基当り)			
NO.	名 称	規 格	数 量
①	フロート	D-12 (12kg/m), 100×120×1150	4本
②	フロートカバー	塩ビ鋼板 t=0.6mm	4枚
③	フレーム	SK-10	1組
④	植生用マット	t=100, 1000×1000×100	1枚
⑤	保護ネット	KTG-4000	1枚



図 2-8 紐状接触材（左：ポリプロピレン+ポリエチレン製、右：ポリプロピレン製、いずれも径 45mm）

表 2-3 曝気循環装置関連の仕様

名称	規格
曝気装置	SUS304、φ500mm（外形）
コンプレッサー	OFT-02CT, 3相200V



図 2-9 曝気装置

2.3 調査項目

調査項目および調査方法を表 2-4 に示す。動物プランクトンを除く項目については、毎回 13:00~琵琶湖型池および深池において計測、採水を行い、動物プランクトンは水中での活動が活発になる 21:00 以降に採取を行った。表 2-5、表 2-6 に調査日等を示す。

表 2-4 調査項目と調査方法

調査項目	調査方法
水温	水質測定器による現地観測
p H	水質測定器による現地観測
DO	水質測定器による現地観測
SS	昭和46年環告第59号付表8
クロロフィル-a	上水試験方法VI-4-27.2
COD	JIS K-0102.17
T-N	JIS K-0102.45.2
T-P	JIS K-0102.46.3
動物プランクトン	ネット法
植物プランクトン	採水法
微小動物	ネット法
魚類	定置網



図 2-10 接触財採取用のネット

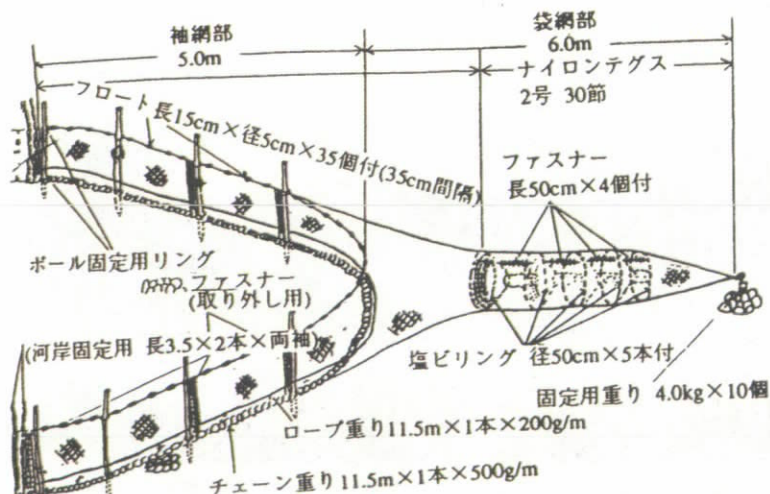


表 2-5 琵琶湖型池調査日および調査項目

調査項目	4月11日	5月7日	5月22日	6月11日	7月10日	7月28日	8月5日	8月20日	8月29日	9月10日	9月25日	10月21日
水温	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
p H	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
DO	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SS	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
クロロフィル-a	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
COD			○									
T-N			○									○
T-P			○									○
動物プランクトン (分析)			○	○					○			
動物プランクトン (乾燥重)						○	○	○	○	○	○	○
植物プランクトン			○	○					○			
微小動物			○					○				○

表 2-6 深池調査日および調査項目

調査項目	6月23日	7月10日	8月20日	8月29日	9月10日	9月25日	10月7日	10月21日
水温	○	○	○	○	○	○	○	○
p H	○	○	○	○	○	○	○	○
DO	○	○	○	○	○	○	○	○
SS	○	○	○	○	○	○	○	○
クロロフィル-a	○	○	○	○	○	○	○	○
COD								
T-N							○	
T-P							○	
動物プランクトン (分析)				○				
動物プランクトン (乾燥重)			○	○	○	○	○	○
植物プランクトン				○				
微小動物							○	○

3. 調査結果および考察

3.1 琵琶湖型池（予備実験）における遮光および紐状接触材による浄化効果

3.1.1 調査の結果

(1) 水質の変化

琵琶湖型池では6月初旬よりアカウキクサが水面を覆い（図 3-1）、DOの低い状況が続いたため調査を延期し、8月より再開した。調査期間中の水温、p H、DO、クロロフィル-a およびSSを図 3-2～図 3-4 に示す。



図 3-1 浮草に覆われた琵琶湖型池(6月)

水温は各地点とも大きな差はみられず、また、DO、pHではいずれも対照池が高い値で推移し、「遮光 15%+紐」、「遮光 15%」では低かった。

栄養塩については 10 月の測定で無機態窒素が「遮光 15%+紐」で最も高く (0.2mg/l)、その他は 0.03~0.1mg/l の範囲であった。全窒素の平均は 0.59mg/l であった。また、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は 0.007~0.024mg/l で「遮光 30%」で最も高く、全りんは 0.065mg/l であった。

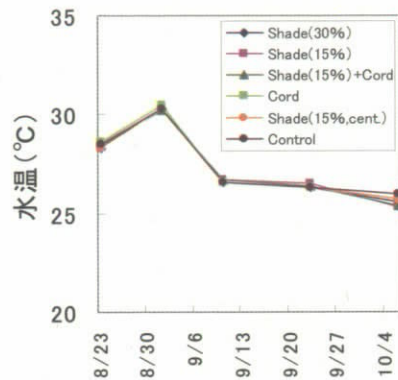


図 3-2 琵琶湖型池における水温の変化

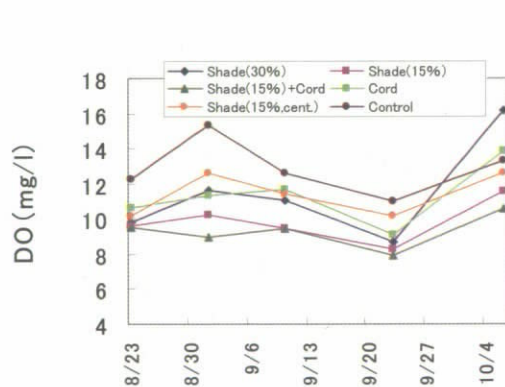


図 3-3 琵琶湖型池における DO の変化

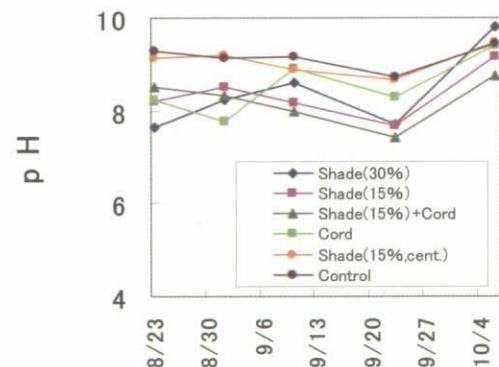


図 3-4 琵琶湖型池における pH の変化

(2) クロロフィル-a およびSSの変化

クロロフィル-a およびSSを図3-5、図3-6に示す。クロロフィル-a とSSは経時的に同様な増減傾向を示した。クロロフィル-a では、ほとんどの調査で「対照」が最高値を示し、「遮光 15%」や「遮光 15%+紐」は低い値で推移した。これに対し、SS では「遮光 15%+紐」が最も低い値で推移した。

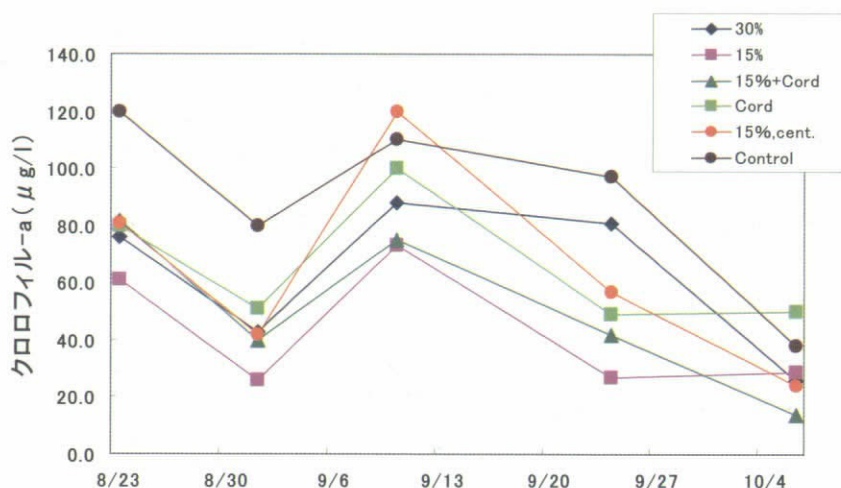


図 3-5 琵琶湖型池におけるクロロフィル-a の変化

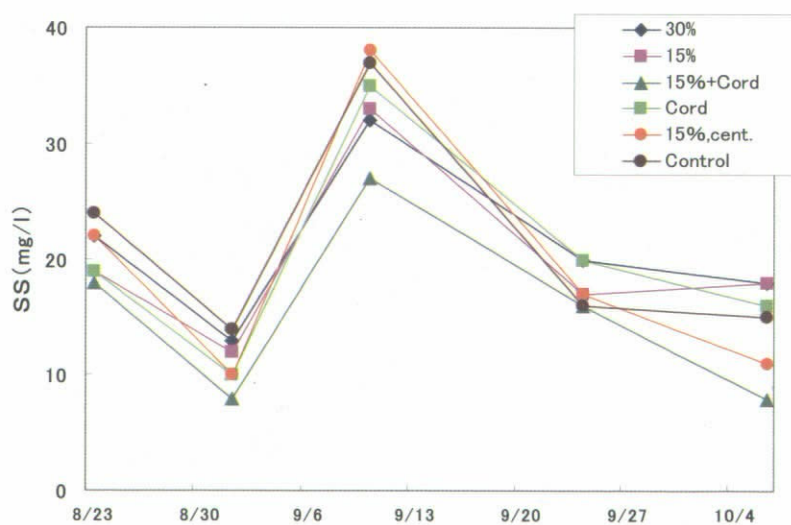


図 3-6 琵琶湖型池におけるSS の変化

(3) 動植物プランクトンの種組成および生物量

動植物プランクトンの種組成および生物量を図 3-7 に示す。8 月、9 月の植物プランクトンは、いずれのケースも緑藻が多く、全体の 75~97% を占めた（優占種は *Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*）。10 月は「遮光 15%, 中央」、「対照」で 9 割以上を緑藻類が占めたが、その他では珪藻類も多く、「遮光 15%」ではとくに珪藻類が 6 割以上を占めた（優占種は *Aulacoseira granulata*）。動物プランクトンでは、ワムシ類の占める割合が多く、全体に占める割合は 48~77% であった。ただし、8 月の「遮光 15%」や「遮光 15%+紐」ではカイアシ類もそれぞれ 51%、41% を占め（いずれもコペポダのノープリウス期幼生が優占種）、他のケースと異なる組成を示した。

植物プランクトンを効率よく減少させるためには、ダフニアなど大型の動物プランクトンの増殖が望ましいが、2003 年の調査においても出現しなかった。

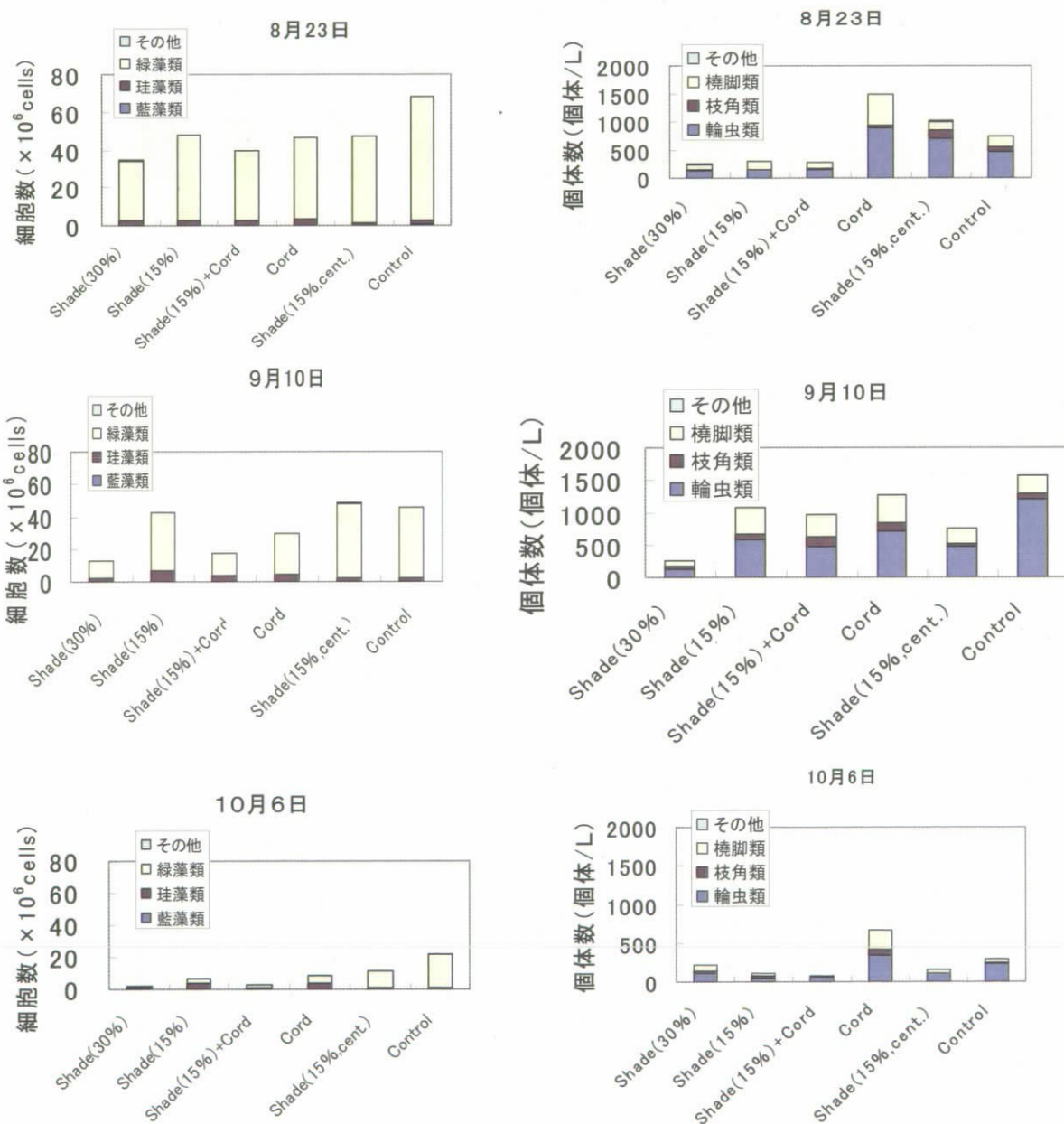


図 3-7 琵琶湖型池における動植物プランクトン組成および生物量の変化

(4) 魚類等の調査

2004 年 11 月に池ごとに魚類等の調査を行った結果、同年 3 月にこれらの除去作業を行なったにもかかわらず、各池とも動物プランクトンを捕食するモツゴや同年春に孵化したと思われる 2~3cm のブルーギルが合わせて 30 個体前後みつかった。したがって、これらの影響を考慮する必要があるが、池ごとの個体数に大きな差が認められなかったため、ほぼ同様の条件下であったとみなし、考察を行なった。

3.1.2 遮光および紐状接触材による浄化効果

図 3-8 に対照点のクロロフィル-a の値を 1 としたときの各ケースの割合の平均値と標準誤差を示す。いずれのケースにおいても対照池よりもクロロフィル-a が抑えられる傾向がみられた。生産性の高い 8~9 月は対照に比べ「遮光 15%」、「遮光 15%+紐」でそれぞれ 56%、43% の減少傾向がみられ、その他でも約 3 割の減少がみられた。また、全調査期間では「遮光 15%」、「遮光 15%+紐」では約 5 割、その他の池では約 2 割~3 割の減少がみられた。

SS についても同様に各ケースの割合の平均値を図 3-9 に示す。クロロフィル-a ではいずれのケースにおいても対照池よりも低く抑えられる傾向がみられたが、SS では「遮光 15%+紐」が 8~9 月に 24% の削減、全調査期間で 29% の削減を示したが、その他の池では若干の減少にとどまった。したがって、「遮光 15%」において「遮光 15%+紐」と同様にクロロフィル-a が抑えられたが、SS では若干の減少にとどまったのは、「遮光 15%+紐」の接触材の動物プランクトン等がクロロフィル-a だけでなく、その他の有機物等をも摂取し、SS の削減につながったと考えられる。

「遮光 30%」は「遮光 15%」よりもさらに高い効果を期待したが対照に対し、クロロフィル-a で 3 割程度の抑制にとどまり、遮光面積に比例した効果は得られなかった。「遮光 30%」は植物プランクトンの細胞数で「遮光 15%」の 3 割~7 割程度、動物プランクトンの個体数では 2 割~2 倍と変動が大きく、植物プランクトンの増加に動物プランクトンが追

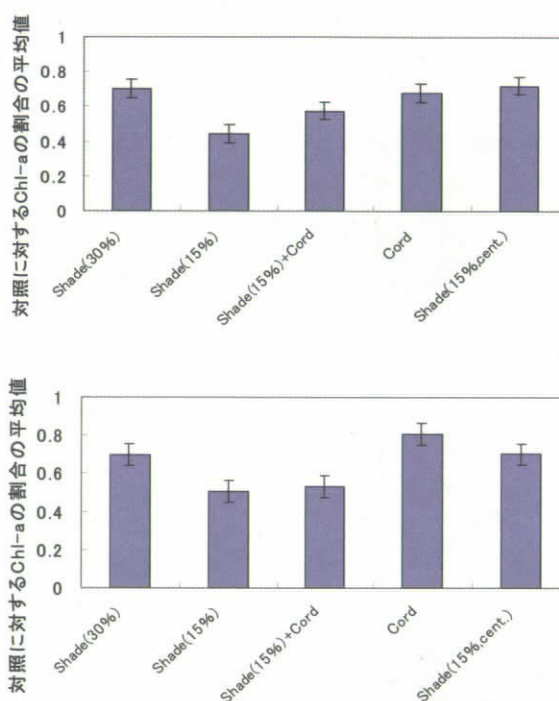


図 3-8 対照池に対する Chl-a の割合
(上：8~9 月、下：全調査期間)

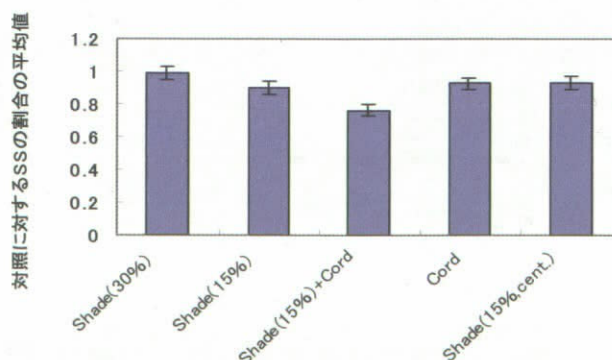


図 3-9(1) 対照池に対する SS の割合
(8~9 月)

随しない場合もみられた。このことから、「遮光 30%」では動物プランクトンによる摂餌圧が持続しなかったと考えられる。したがって、遮光はクロロフィル-a をある程度低下させるが、遮光面積が大きくなるに伴って、基礎生産が落ちることで動物プランクトンが減少し、本来あるべき食う食われる関係が適度に維持されない場合があると考えられる。このため、遮光のみでクロロフィル-a の低下を図ることには限界があり、対象水域の生物量や組成によっては、遮光に接触材を組み合わせることで多様な水域の浄化に対応する必要があると思われる。

「紐のみ」は、対照に比べクロロフィル-a は 2 割程度の削減にとどまった。「紐のみ」では 8 月に水中部の動物プランクトンに比べ、接触材に付着する量が 29 倍に及んだ。しかし、「遮光 15%+紐」および「紐のみ」の接触材の動物プランクトン個体数を比べると、「遮光 15%+紐」のほうが 8 月に 4.5 倍多く（図 3-10）、種類数も「遮光 15%+紐」の方が高い傾向にあった。また、「遮光 15%+紐」と「紐のみ」の多様度指数（Shannon 指数、式(1)）を比較すると、前者で高かった（図 3-11）。

$$H' = - \sum_{i=1}^S n_i / N \log (n_i / N) \dots\dots\dots (1)$$

n_i : 種別個体数, N : 総個体数, S : 総種類数

したがって、クロロフィル-a 削減効果が「紐のみ」で低かったのは、「遮光 15%+紐」よりも接触材の動物プランクトンの個体数が少なく、また、多様性が低かったことによるものと考えられる。

クロロフィル-a と動物プランクトン（乾燥重量）の変化を図 3-12 に、実験施設に比較的近い大津の降水量および日照時間（気象庁データ）を図 3-13 に示す。図 3-12 ではいずれの池においてもクロロフィル-a が 8 月 23 日で高く、9 月 1 日で低くなっている。図 3-13（図中の矢印は調査日を示す）をみると両日ともに前日にまとまった降雨が認められるが、8 月 23 日はその 5 日前から平均約 6 時間の日照時間が継続しているのに対し、9 月 10 日の 5 日前は、平均約 3 時間程度の日照時間であった。実験施設の

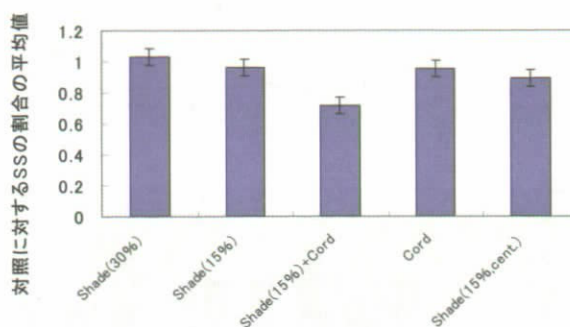


図 3-9(2) 対照池に対する SS の割合（全調査期間）

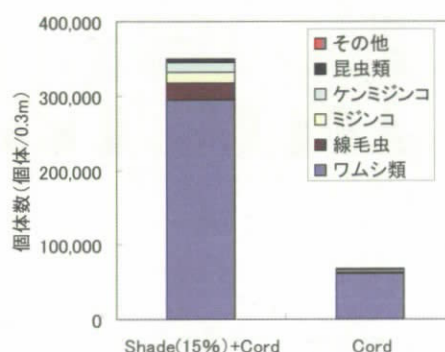


図 3-10 接触材の動物プランクトン（8 月）

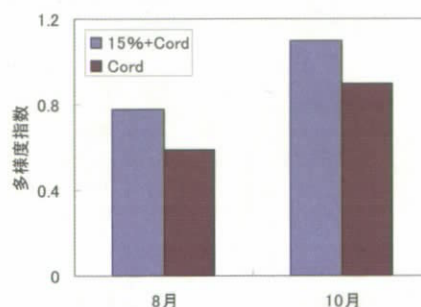


図 3-11 接触材の動物プランクトンの多様度指数と SS 削減割合の関係

ある草津においても大津に近い気象変化があったとみなすと、こうした日照の違いがクロロフィル-aの増減に影響していると思われる。

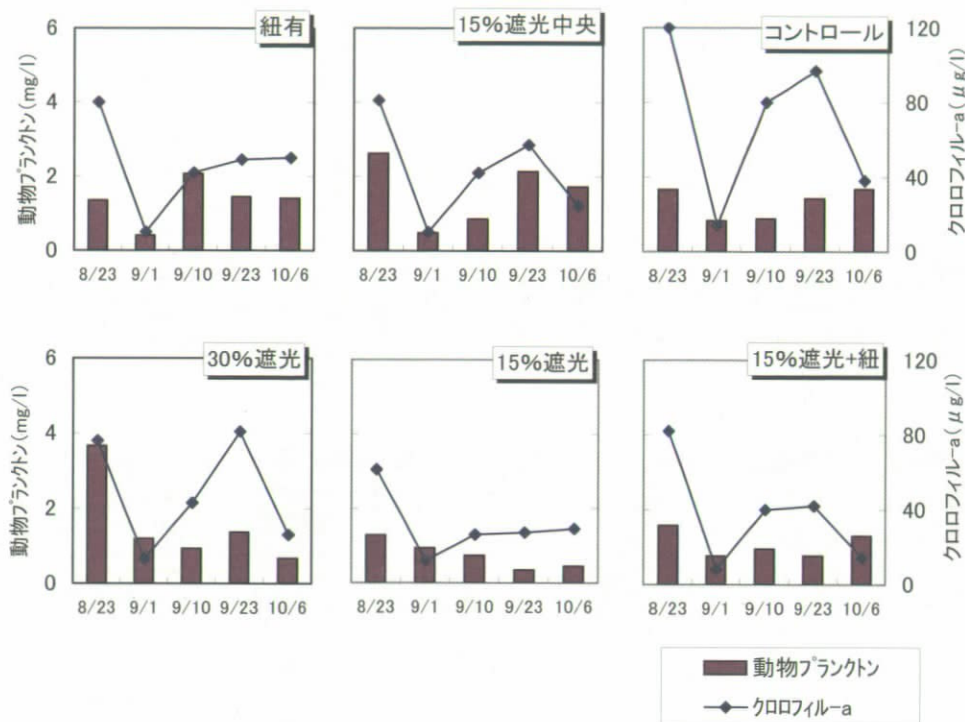


図 3-12 琵琶湖型池におけるクロフィル-a と動物プランクトン乾燥重量の変化

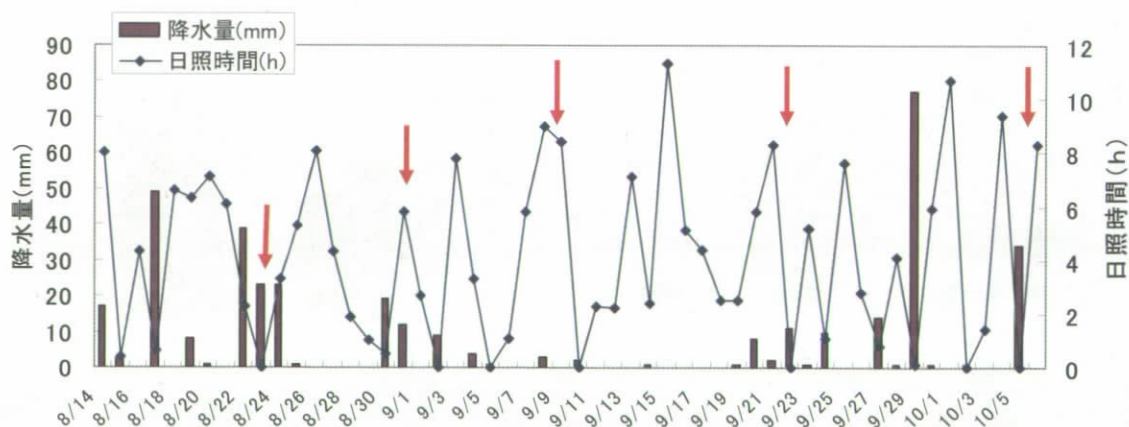


図 3-13 大津の降水量および日照時間（気象庁データ）

図 3-12 では、9 月 10 日に「遮光 15%+紐」および「紐のみ」で動物プランクトンの増加により 9 月 23 日にクロロフィル-a の増加が抑えられるトップダウン効果が部分的にみられた。これは「遮光 15%+紐」の接触材では動物プランクトンが、単位体積当たり最も多いときで水中部の 130 倍、「紐のみ」においても 29 倍と多く、これらの動物プランクトンによる摂餌圧が寄与していると考えられる。したがって、接触材を設けることによって動物プランクトンの生息しやすい環境を提供でき、また、「遮光 15%+紐」のように遮光率の高い条件下ではさらに生息密度が高まると考えられる。さらに、接触材の動物プランクトンの多様性が高いほど SS 削減効果も高い傾向にあった（図

3-14)。

なお、2003 年の接触材における動物プランクトンの個体数を比較すると 10 月は 2 倍程度があるが、2004 年 8 月は「紐のみ」で前年の約 7 倍、「遮光 15%+紐」は約 90 倍となった (図 3-15)。ワムシが大部分を占める傾向は変わらないが、接触材における動物プランクトンの生息量は時間を経て、増加すると考えられる。

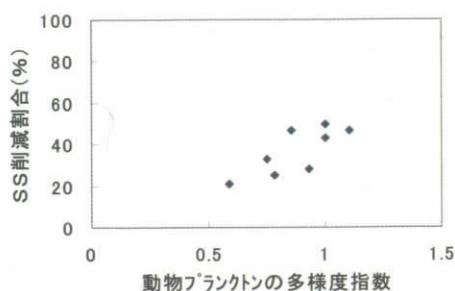


図 3-14 接触材の動物プランクトンの多様度

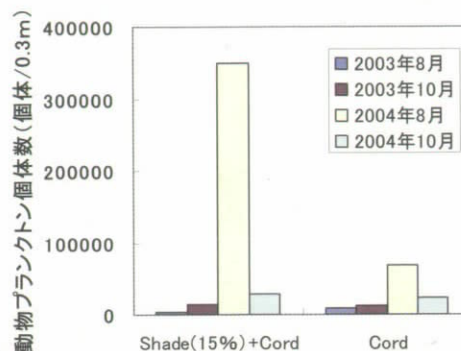


図 3-15 接触材の動物プランクトンの経年変化

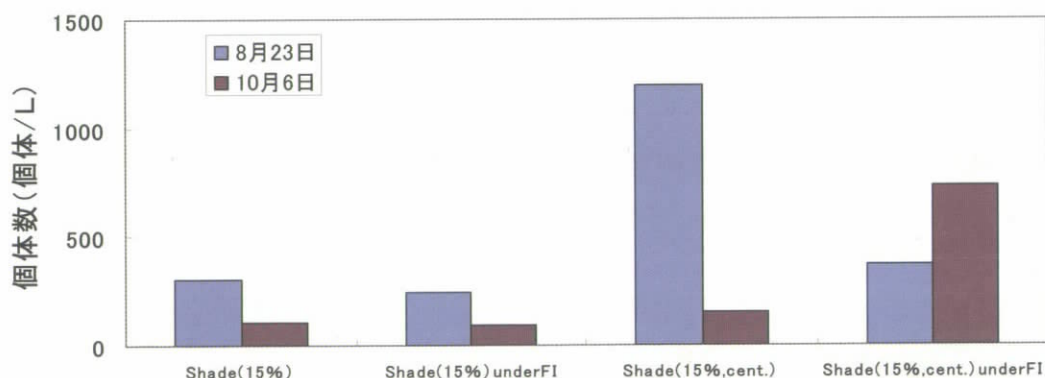


図 3-16 浮島周辺と浮島下における動物プランクトン

3. 1. 3 琵琶湖型池における浮島の位置について

遮光がともに 15%で浮島の位置が池の端である「遮光 15%」と池中央の「遮光 15%, 中央」において浮島下 (under FI) における動物プランクトンの利用密度について日中の個体数を 8 月と 10 月で比較したところ (図 3-15)、浮島を端に置いた「遮光 15%」では浮島周辺と浮島の真下で個体数の違いは比較的小さく、これに対し浮島を中央に設けた「遮光 15%, 中央」では 8 月は浮島周辺の方が約 3 倍多く、また、10 月は浮島直下のほうが約 5 倍多く、異なる傾向がみられた。このことから、浮島を中央に設けたほうが動物プランクトンの日中の水平移動は活発になると考えられる。水中の動物プランクトンは「遮光 15%, 中央」の方が総数で「遮光 15%」を上回っているものの、接触材が付いていないため、図 3-14 の「遮光 15%+紐」にみられる大量の動物プランクトンによる捕食がなく、また、「遮光 15%」よりも斜めの日射が入りやすかったことから、クロロフィル-a の削減効果が「遮光 15%」に及ばなかったと考えられる。

3.2 深池（本実験）における BRI の効果

3.2.1 調査の結果

BRI 槽では6月より2ヶ月近くアカウキクサが大繁殖し、水面を覆ったためDOが低下し、また、対照槽ではアオミドロの繁殖が著しく、壁面や水面に藻類の塊が多数みられた。いずれの水槽も植物プランクトンの増殖が予想外に小さかったため、8月3日に実験施設に比較的近い柳平湖からアオコを含む湖水を取水し、各実験水槽に30m³ずつ添加した。

図3-17～図3-19に8月～10月の水温、DOおよびpHの変動を示す。水温は2地点とも大きな差はみられず、また、BRI槽のDOは循環により上下層が近い値を取ったが、先の理由から低い値で推移した。pHは総じて対照槽の方がBRI槽よりも高い値で推移した。

実験水槽に流入する葉山川の栄養塩変動を図3-20に示す。10月は全リンが0.23mg/lで最も高く、全窒素も4、6月に次いで高い1.1mg/lを示した。これに対し、実験水槽では10月の全窒素がBRI槽で0.55mg/l、対照で0.50mg/l、となり、また、全リンはBRI槽で0.042mg/l、対照が0.034mg/lであった。

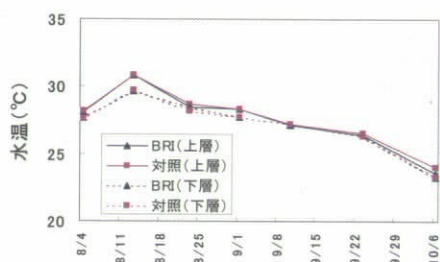


図 3-17 深池における水温の変化

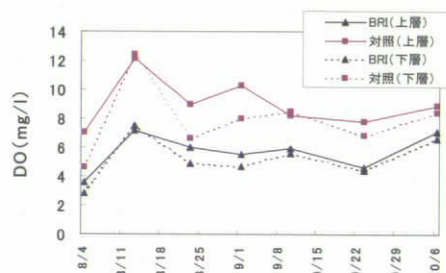


図 3-18 深池におけるDOの変化

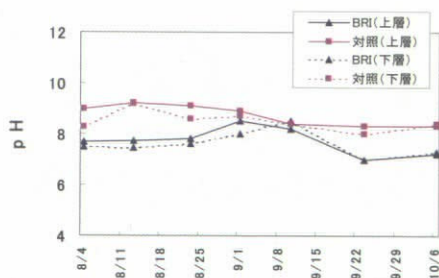


図 3-19 深池におけるpHの変化

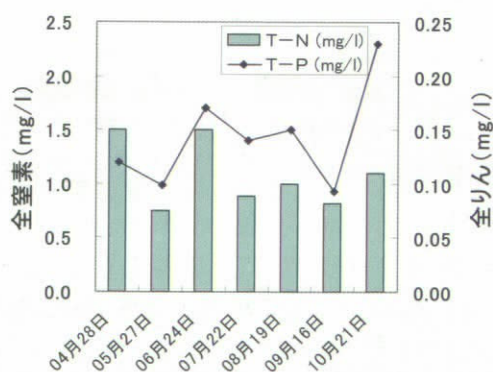


図 3-20 深池に流入する葉山川の栄養塩

BRI 槽および対照槽における8月～10月のクロロフィル-aおよびSSの変動を図3-21、図3-22に示す。クロロフィル-aとSSの増減は比較的似通っていたが、平均値で対照槽の方がBRI槽よりもクロロフィル-aで約2割高く、SSでは約2倍の値を示した。

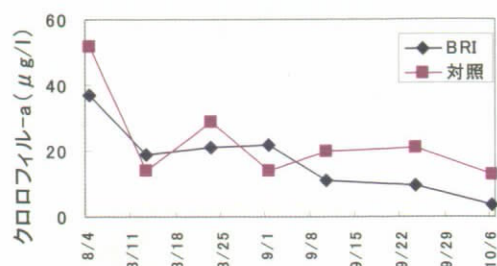


図 3-21 深池におけるクロロフィル-a の変化

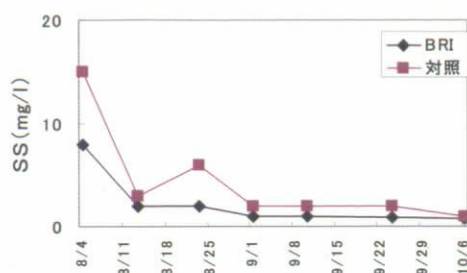


図 3-22 深池におけるSSの変化

3.2.2 BRI の効果について

BRI 槽の対照槽に対するクロロフィル-a、SS の割合の平均をみると (図 3-23)、生産性の高い 8~9 月ではクロロフィル-a で約 1 割の削減にとどまったが、全調査期間では約 2 割の削減効果が認められた。一方、SS では 8~9 月、全調査期間とも約 5 割の抑制効果が認められた。また、対照槽では、一般に植物プランクトンによる増殖に伴ってみられる DO の過飽和や高い pH が認められたが、BRI 槽ではそうした傾向はみられなかった。このことから、BRI 槽では植物プランクトンによる生産が低く抑えられていたと考えられる。また、BRI 槽の動物プランクトンの個体数は、対照槽に比べて 8 月に 4.6 倍、9 月に 1.6 倍多かった。これは、前述の琵琶湖型池における実験のなかでも示したが、紐状接触材により動物プランクトンの生息空間が提供されたことによると考えられる。

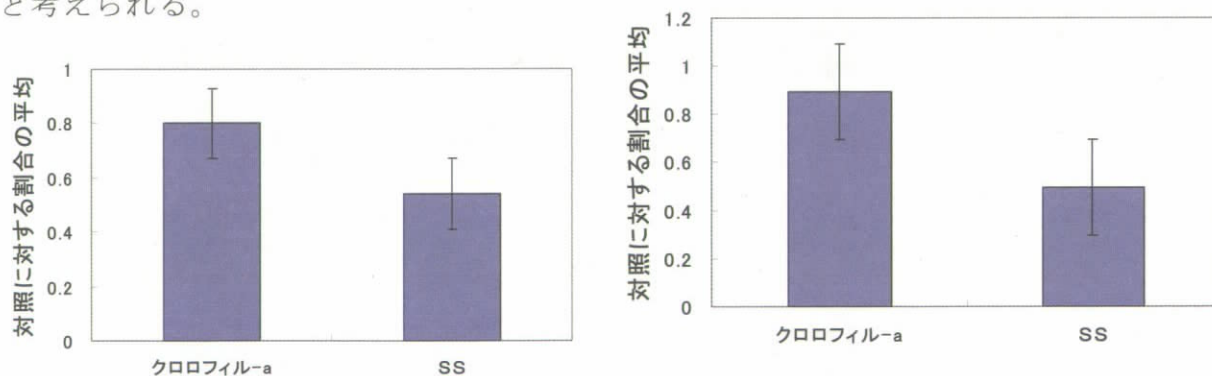


図 3-23 対照池に対する Chl-a および SS の割合 (左: 8~9 月、右: 全調査期間)

図 3-24～図 3-25 に水槽および導入水の動植物プランクトンの組成と生物量を示す。

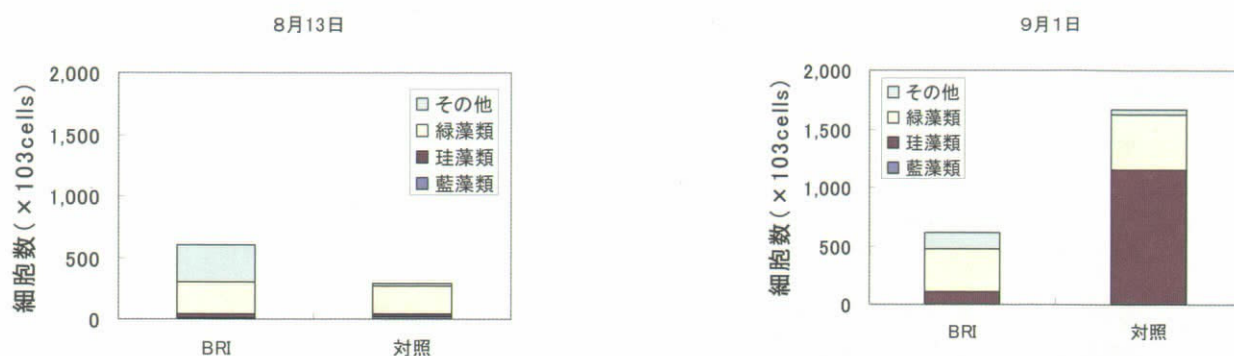


図 3-24 深池の動物プランクトン組成・生物量の変化



図 3-25 深池の植物プランクトン組成・生物量の変化

動物プランクトンはいずれもコペポダのノープリウス期幼生やワムシ類が多くを占め、9月には個体数が8月に対してBRI槽で約5倍、対照槽で約14倍に増加した。一方、導入水はアオコを含みイカダモを優占種とするものであったが(図3-26)、8月の優占種はBRI槽でクリプトモナス、対照槽で緑藻のクラミドモナス、9月にはBRI槽で緑藻のクロロゴニウム、対照槽でタイコケイソウへと優占種が変化した。

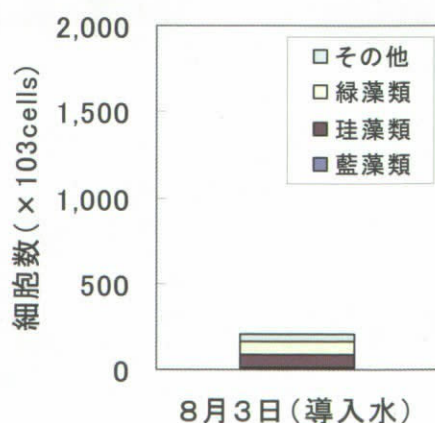


図 3-26 導入水の水質おけるクロロフィル-aの変化

9 月に対照槽ではアオコ、アナベナが確認されているが、BRI 槽ではともにみられなかった（図 3-27）。直接の比較は難しいが、琵琶湖型池では BRI 槽のように対照槽と動植物プランクトンの優占種が異なることはなかった。したがって、曝気装置による循環は植物プランクトンの組成に変化をもたらすものと考えられる。なお、BRI 槽では対照槽に比べ、アオミドロの発生がほとんどなかった（図 3-28）。

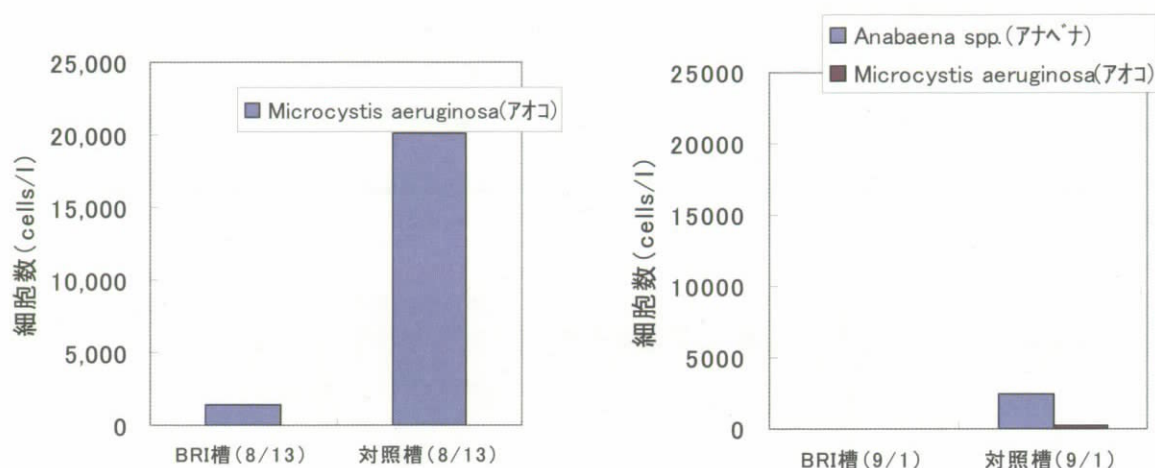


図 3-27 深池のアオコとアナベナの細胞数の変化



図 3-28 BRI 槽（左）と対照槽（右）

4. まとめ

浮島による遮光および浮島下部に取りつけた紐状接触材がそれぞれ、植物プランクトンの生産抑制にどの程度寄与し、さらに、曝気循環装置による循環を組み合わせた場合、どの程度水質を向上させるのかを定量的に把握しようと試みた。

紐状接触材付き浮島の設置によりダフニアなどの大型動物プランクトンを増やし、効率よく植物プランクトンを捕食させて透明度の向上を図ろうと考えたが、ダフニアへの移行はみられなかった。しかし、紐状接触材に多様な動物プランクトンが生息することによって、植物プランクトンだけでなく、その他の懸濁物質も摂取され、SS

が削減することが捉えられた。

予備実験からは、浮島（遮光）や紐状接触材をそれぞれ単独で用いるよりも浮島（遮光 15%）と紐状接触材を組み合わせたケースで最も透明度の向上が図られ、定量的には S S で約 3 割（全調査期間の平均）の削減効果が認められた。さらに、本実験では紐状接触材付き浮島（遮光 25%）に曝気装置による循環を加えた場合、アオミドロやアオコ、アナベナ等が増殖にくい環境をつくり、S S を約 5 割（全調査期間の平均）の削減する効果があった。浮島（遮光）や紐状接触材だけでは、表層に集積しやすいアオコ等を効率よく浮島下部へ運ぶことが出来ないが、曝気装置の循環を加えることにより、植物プランクトンの局所的な滞留を防止し、さらに透明度を向上できると考えられる。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長

柳田 英俊

実験センター研究員

和田 浩幸

東亜建設工業株式会社 土木本部 技術開発部

環境開発課長

鈴木 秀男

環境開発課主査

田中ゆう子

表 2-1 使用材料 一覧

	設置位置	ろ過材の種類	仕 様
材料 1	浸透ろ過①	Fe 型人工ゼライト被膜粒状品	結合材 : 中性接着剤 数量 : 0.5 m ³
材料 2	浸透ろ過②	Ca 系材料被膜粒状品	結合材 : 中性接着剤 数量 : 0.5 m ³
材料 3	浸透ろ過③	Fe 型人工ゼライト被膜粒状品 + Ca 系材料被膜粒状品	結合材 : 中性接着剤 数量 : Fe 型人工ゼライト被膜粒状品 0.25 m ³ + 炭酸カルシウム被膜粒状品 0.25 m ³ の混合品 合計 0.5 m ³

3. 実験結果

3.1 水質調査結果（定期調査結果）

各項目別の結果を下記に示す。

pH

浸透ろ過水①では原水と比べて大きな変化はないが、浸透ろ過水②および③では、すべての測定値でアルカリ側に若干上昇していた。これは、Ca 系材料が水中の二酸化炭素と反応したことによるものと考えられる。しかし、このような二酸化炭素の吸収は、河川などでも光合成により普通にみられるものであり、上昇幅からして特段問題になる範囲のものではないと考えられる。

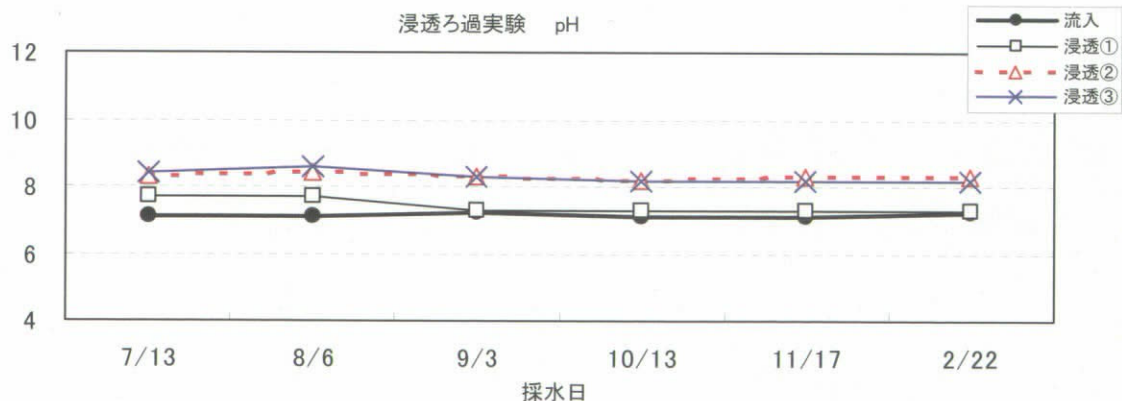


図 3-1 pH の経時変化

DO（溶存酸素）

3 槽とも、原水に比べて少し値を下げていた。これは、水中の溶存酸素が有機物の分解等に消費されていると考えられる。しかし、減少しているのはわずかな値であり、特に問題となる変化ではないと考えられる。

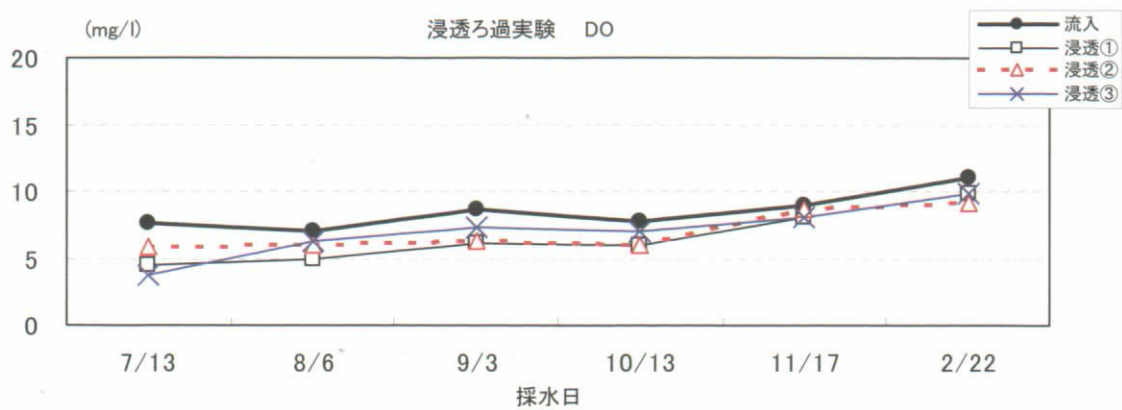


図 3-2 DOの経時変化

SS（浮遊物質）、透視度

原水はSSが9～30mg/L、透視度が18～48度と濁った印象のある水であったが、ろ過水はSSが1未満～5mg/L（除去率平均値は、浸透ろ過水①で90%、浸透ろ過水②で93%、浸透ろ過水③で90%であった。）、透視度がすべての結果で100度超であり、非常に透明感の高い水であった。これより、原水中の濁質成分をろ過によりほとんど除去していると判断できる。

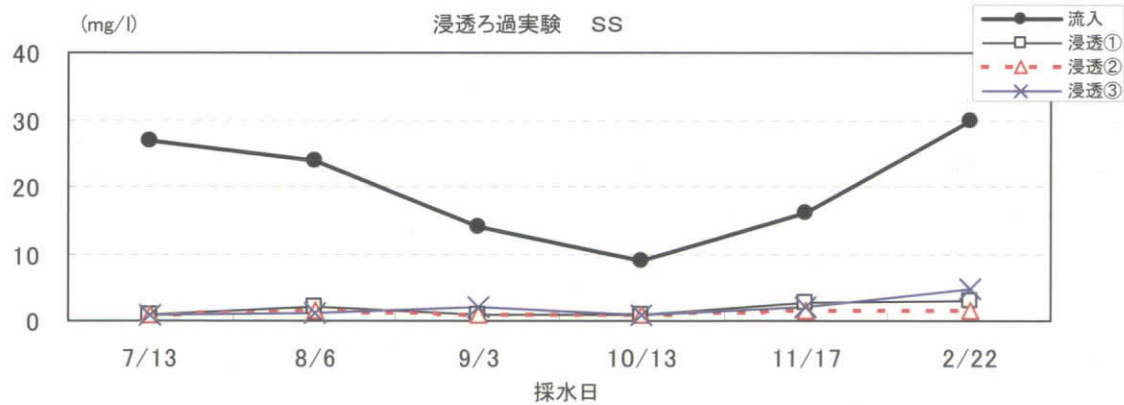


図 3-3 SSの経時変化

表 3-1 SSの除去率

試料名	SS						除去率(%)		
	H16年					H17	最小値	最大値	平均値
	7/13	8/6	9/3	10/13	11/17	2/22			
浸透ろ過水①	96	91	93	89	83	90	83	96	90
浸透ろ過水②	96	94	93	89	91	95	89	96	93
浸透ろ過水③	96	95	86	89	86	84	84	96	90

COD（化学的酸素要求量）

ろ過水の結果をみると、3槽ともすべての月でCODの減少がみられており（平均除去率は、浸透ろ過①が42%、浸透ろ過②が42%、浸透ろ過③が40%であった。）、ろ過槽内で吸着や分解などの反応が起こり、有機物を減少させるという水質の改善に効果があったと言える。

ろ過材種類間の差は小さく、各月ともほぼ一定に除去していた。

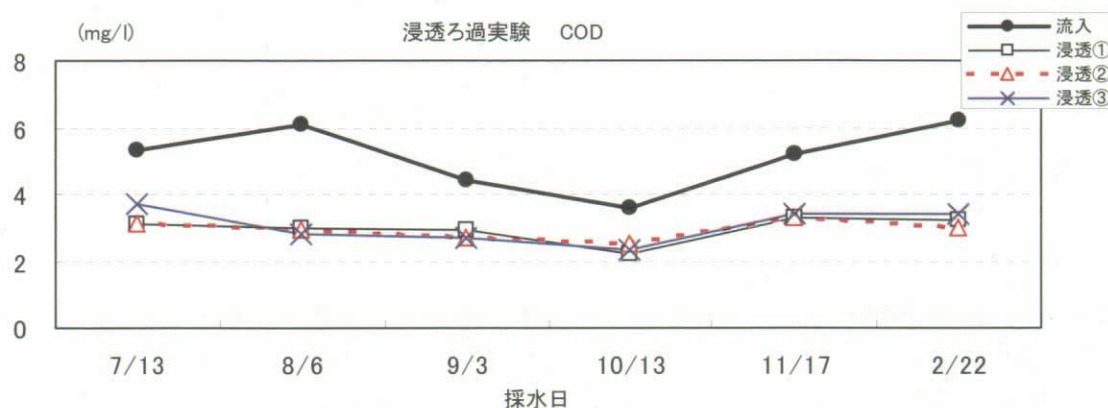


図 3-4 CODの経時変化

表 3-2 CODの除去率

COD 試料名	H16年					除去率(%)			
	7/13	8/6	9/3	10/13	11/17	2/22	最小値	最大値	平均値
浸透ろ過水①	42	51	34	39	37	48	34	51	42
浸透ろ過水②	42	52	39	31	37	52	31	52	42
浸透ろ過水③	30	54	39	36	35	45	30	54	40

窒素類（T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N）

全体的には、ほとんど原水と浸透ろ過水で同じであり、T-Nとしての除去効果はあまりみられなかった。この事象に関し、無機態窒素の変化を含めた経時変化を図 3-6 に示す。この分析によると、アンモニア性窒素や亜硝酸性窒素が減少しているのに対して硝酸性窒素がやや増加していることから、ゼオライトによるアンモニア性窒素の除去と硝化（窒素における酸化反応）が進んでいると考えられる。

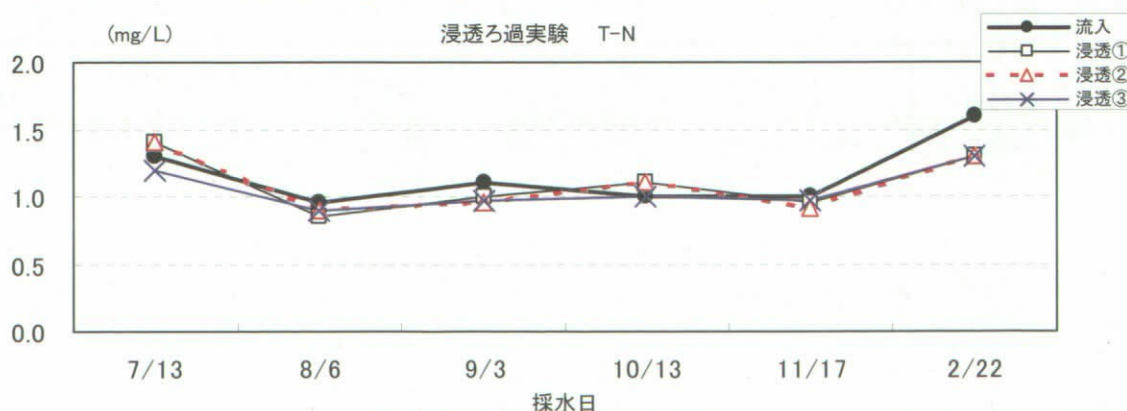


図 3-5 T-Nの経時変化

表 3-3 T-N の除去率

試料名	T-N						除去率(%)		
	H16年					H17	最小値	最大値	平均値
	7/13	8/6	9/3	10/13	11/17	2/22			
浸透ろ過水①	-8	11	9	-10	4	19	-10	19	4
浸透ろ過水②	-8	7	14	-10	9	19	-10	19	5
浸透ろ過水③	8	7	12	0	3	19	0	19	8

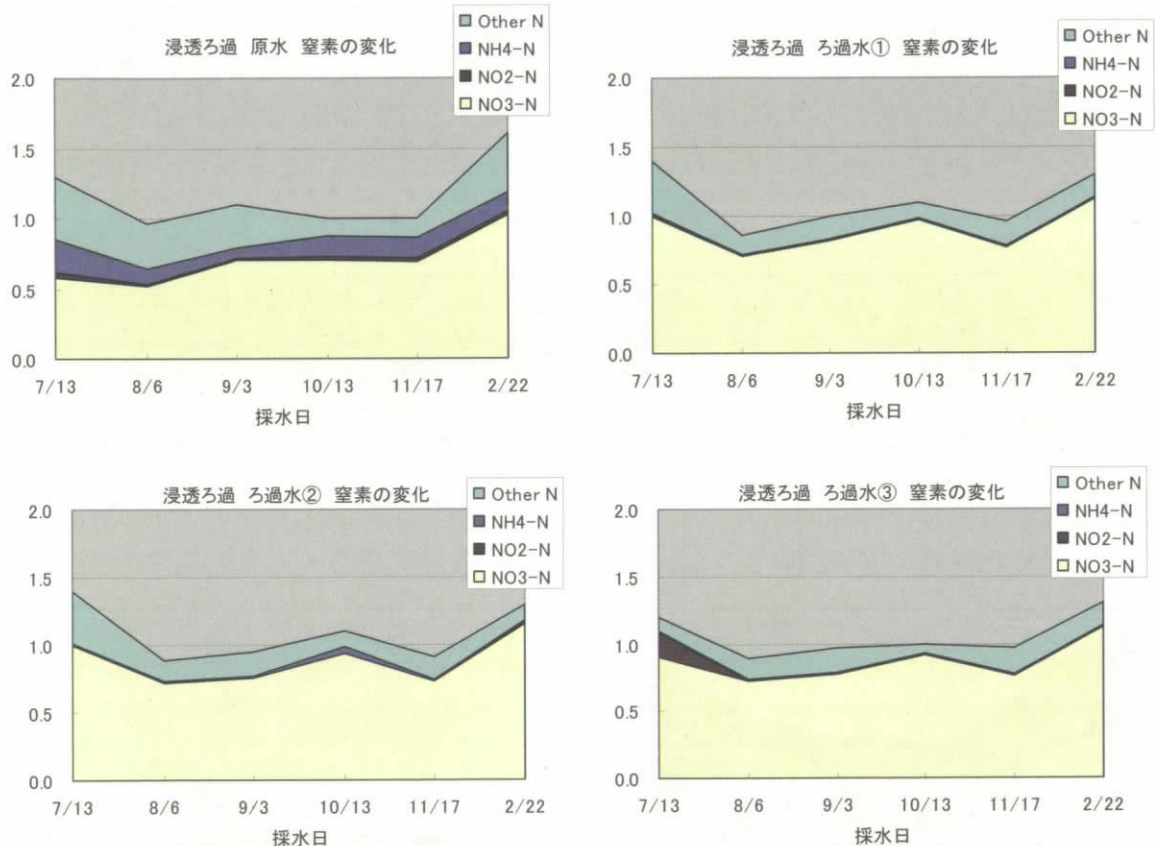


図 3-6 窒素の形態別変化

リン類 (T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$)

全リンとしてみると、月によって差はあるものの、全ての槽で除去が行われていた。平均除去率は、浸透ろ過水①で 67%、浸透ろ過水②で 39%、浸透ろ過水③43%であり、ほとんどの月で浸透ろ過水①の除去率が他の槽より高かった。

図 3-8 に示すリンの形態別変化をみると、浸透ろ過水①では、 $\text{PO}_4\text{-P}$ (リン酸性リン) の減少量が他の槽よりも多かった。これより、浸透ろ過① (Fe 型人工ゼオライト被膜粒状品) は他の浸透ろ過よりも無機性のリンを吸着させる効果が高く、その結果全リンの除去率も高くなったと考えられる。

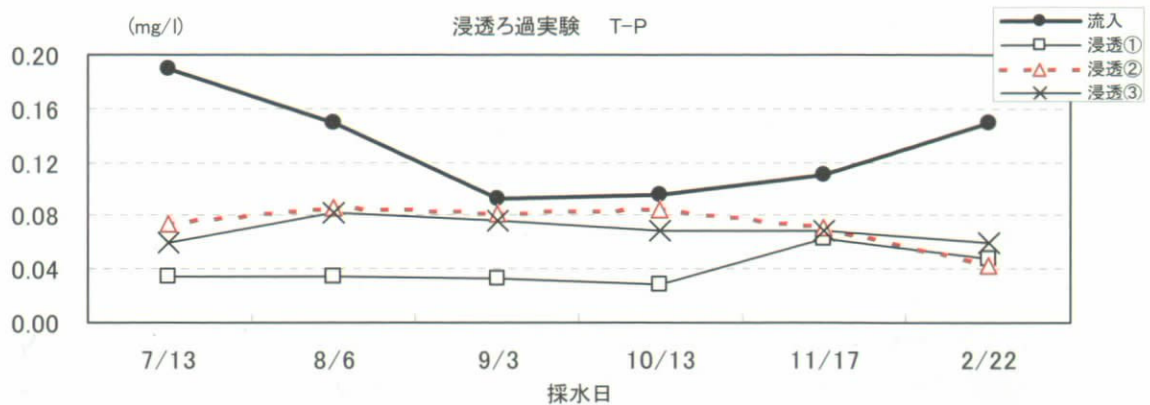


図 3-7 T-P の経時変化

表 3-4 T-P の除去率

T-P 試料名	H16年						除去率 (%)		
	7/13	8/6	9/3	10/13	11/17	H17 2/22	最小値	最大値	平均値
浸透ろ過水①	82	77	65	71	43	68	43	82	67
浸透ろ過水②	61	43	12	11	35	71	11	71	39
浸透ろ過水③	69	45	18	29	37	61	18	69	43

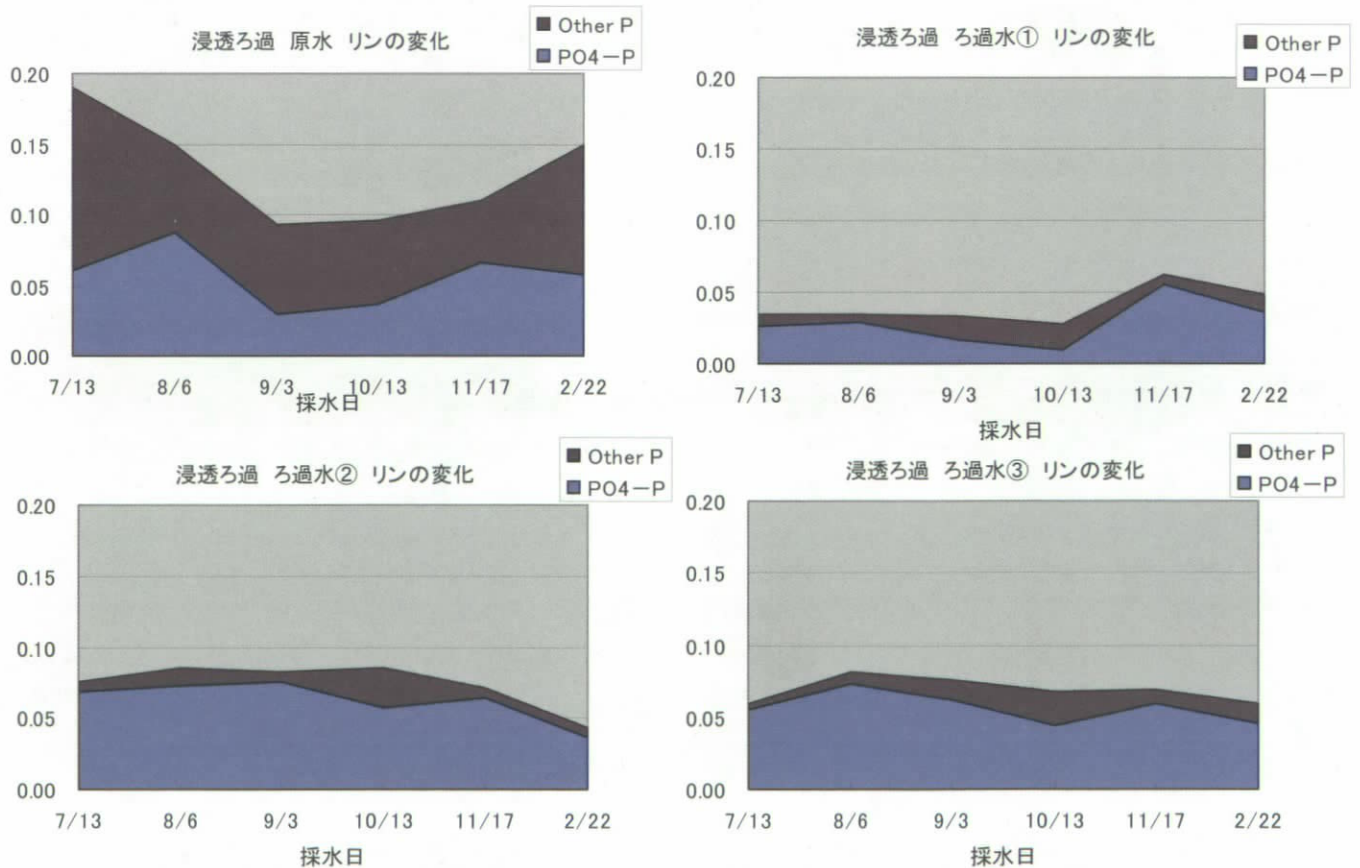


図 3-8 リンの形態別変化

3.2 水質詳細調査結果（9月および2月）

9月および2月に実施した詳細調査の一覧を表3-5に示す。

表 3-5 水質詳細調査結果

浸透ろ過 詳細調査 1回目（平成16年9月3日）

項目 単位	浸透ろ過 実験原水	①Fe型セウ付膜			②Ca 系材料被膜			③Fe 型セウ付膜+Ca 系材料被膜		
		200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部	200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部	200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部
採水時間	14:34	15:05	15:08	14:45	15:10	15:12	14:55	15:15	15:16	14:48
気温 °C	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
水温 °C	25.0	26.2	27.0	26.8	27.1	26.5	25.8	26.5	25.8	26.2
pH	7.2	-	-	7.3	-	-	8.3	-	-	8.3
DO mg/l	8.7	-	-	6.1	-	-	6.3	-	-	7.3
SS mg/l	14	-	-	<1	-	-	<1	-	-	2.0
透視度 度	48	-	-	>100	-	-	>100	-	-	>100
COD mg/l	4.4	3.9	3.5	2.9	2.5	3.7	2.7	2.7	3.2	2.7
D-COD mg/l	3.6	-	-	2.1	-	-	2.5	-	-	2.6
T-P mg/l	0.093	0.097	0.087	0.033	0.12	0.090	0.082	0.079	0.080	0.076
D-T-P mg/l	0.051	-	-	0.024	-	-	0.078	-	-	0.063
PO ₄ -P mg/l	0.030	0.037	0.019	0.017	0.061	0.080	0.076	0.064	0.064	0.062
T-N mg/l	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	1.0	1.0	0.97
D-T-N mg/l	1.0	-	-	1.0	-	-	0.95	-	-	0.95
NH ₄ -N mg/l	0.07	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01
NO ₂ -N mg/l	0.017	0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
NO ₃ -N mg/l	0.70	0.77	0.86	0.82	0.82	0.81	0.76	0.81	0.83	0.77

浸透ろ過 詳細調査 2回目（平成17年2月22日）

項目 単位	浸透ろ過 実験原水	①Fe型セウ付膜			②Ca 系材料被膜			③Fe 型セウ付膜+Ca 系材料被膜		
		200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部	200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部	200mm 中間部	400mm 中間部	浄化施設 流出部
採水時間	14:15	15:21	15:18	14:20	15:25	15:23	14:15	15:29	15:35	14:05
気温 °C	8.6	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5	8.6
水温 °C	7.5	7.5	7.1	6.1	7.4	7.4	5.9	7.7	7.6	6.1
pH	7.2	-	-	7.3	-	-	8.3	-	-	8.2
DO mg/l	11	-	-	9.8	-	-	9.1	-	-	9.9
SS mg/l	30	-	-	3.1	-	-	1.6	-	-	4.7
透視度 度	18	-	-	>100	-	-	>100	-	-	>100
COD mg/l	6.2	5.8	4.4	3.2	10.0	4.6	3.0	6.3	4.2	3.4
D-COD mg/l	4.0	-	-	2.3	-	-	2.4	-	-	2.8
T-P mg/l	0.15	0.18	0.14	0.048	0.40	0.11	0.043	0.23	0.15	0.059
D-T-P mg/l	0.060	-	-	0.038	-	-	0.039	-	-	0.049
PO ₄ -P mg/l	0.058	0.021	0.025	0.036	0.056	0.056	0.036	0.048	0.048	0.046
T-N mg/l	1.6	1.5	1.4	1.3	1.9	1.4	1.3	1.6	1.5	1.3
D-T-N mg/l	1.4	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3
NH ₄ -N mg/l	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO ₂ -N mg/l	0.026	0.005	0.004	0.004	0.023	0.007	0.004	0.007	0.001	0.008
NO ₃ -N mg/l	1.02	1.23	1.13	1.12	1.03	1.15	1.16	1.15	1.21	1.12

次に、各項目別の結果を下記に示す。ここでは3.1で検討していない事項に関し記載した。

COD、D-COD（溶解性化学的酸素要求量）

D-CODとは、孔径1 μm のフィルターに通過したものについてCODを実施した値（水全体のCODから粒子性成分によるCODを引いた値）であり、単純に粒子だけを取り除くろ過では、除去できないものである。今回の結果をみると、9月の原水で82%、2月の原水で65%が溶解性成分によるCODであった。ろ過水の結果をみると、CODおよびD-CODともに除去されており、1 μm 未満の溶解性成分についても、有機物の分解や吸着等の作用が働いていると考えられる。

窒素類（T-N、D-T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）

原水の結果をみると、T-NとD-T-Nはほぼ同じ値であり、ほとんどの窒素が溶解性として存在していると言える。

T-Nの除去効果はあまりみられなかったが、わずかに存在している粒子性の窒素分は、中間部から流出部にかけて減少しているのが確認できた。

各無機性窒素の結果をみると、全ての200mm中間部で、アンモニウム性窒素や亜硝酸性窒素が原水より大きく減少していた。この減少した分とほぼ同じ窒素量が、硝酸性窒素の増加量となっており、無機性の窒素の変化は、浸透ろ過の早い段階でおこっていると考えられる。

リン類（T-P、D-T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）

原水の結果をみると、T-Pの約50%がD-T-Pであり、溶解性のみではなく、粒子性のリンも多く存在していた。

T-Pの除去効果は、9月と12月で大きく異なっていた。9月では、浸透ろ過②や③でリン酸性リンの増加がみられ、リンの除去率も低いものであったが、2月には全体的（T-P、D-T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）に除去が確認できた。

4. まとめ

今回の調査による結果を以下に示す。

分類	特徴
3槽の共通事項	・SSの平均除去率は全槽で90%以上であり、ろ過水は非常に透明度の高い水であった。 ・CODやT-Pが減少していることから、ろ過槽内で吸着や分解などの反応が起こり、有機物を減少させるという水質の改善に効果があったと考えられる。 ・窒素については、粒子性窒素やアンモニウム性窒素が減少して、硝酸性窒素が増えるという傾向がみられた。従って、全窒素の値としては原水と浸透ろ過水で大きな変化はみられなかった。 ・CODやD-CODがともに減少していることから、浸透ろ過による水質の効果が粒子性のものだけでなく、溶存性のものにまで効果があったと考えられる。
浸透ろ過①の特徴	・T-Pの平均除去率は、67%と他の槽（浸透ろ過②が39%、浸透ろ過③が43%）より高く、人工ゼオライトの効果が現れたと考えられる。
浸透ろ過②の特徴	・T-Pの平均除去率等、①よりも小さな値を示した。
浸透ろ過③の特徴	・T-Pの平均除去率等、①と②の中間的な性格を示した。

以上より、人工ゼオライトを河川水へ「ろ過材料」として適用した場合、SS・COD・T-P等の指標に対する一定の低減効果が確認された。また、9ヶ月にわたって連続的に通水した2～3L/minの河川水に対して、ろ過材料が目詰まりすることなくろ過可能であったことも特筆すべき特徴と考えられる。

最後に、人工ゼオライトは土壌改良材として適用可能であり、使用済みろ過材を農地等へ混合し、その効果の検証を今後検討していきたい。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構
中部電力株式会社

実験センター所長
実験センター主任研究員
発電本部土木建築部主任

柳田 英俊
有働 正人
窪塚 直亮