

参考資料2 実証実験結果などの検証に関する参考資料

目次

平野川の現状	2
実験に使用した薬剤の底質改善メカニズムの 詳細に関するヒアリング結果	3
室内実験 実験写真 対照区	4
実験写真 X社	6
実験写真 Y社	8
実験写真 Z社	10
実験写真 底泥サンプル	12
底泥試料における薬剤由来のTOC濃度	13
実証実験 実験写真 コア写真	14
実験写真 底泥サンプル	16
水質測定結果 測定日別	20
細菌叢分析結果	21
底質分析結果一覧	25
データのバラツキに関する検討	26
評価式 計算シート	27
用語集	29

水質の状況



【平常時の状況】 (H30年度)

項目	高度処理水			
	①南弁天橋 (2.6k)	⑦東竹測橋 (10.1k)	平野下水処理場 (6.8k)	竜華水みらいセンター (10.5k)
BOD (75%値) (mg/L)	2.5	3.8	1.7	1.7
DO(平均値) (mg/L)	6.1	8.1	-	-
SS (平均値) (mg/L)	4	6	-	-
全窒素(平均値) (mg/L)	8.4 硝酸性窒素 6.8	4.6 硝酸性窒素 3.4	14	5.7
全リン(平均値) (mg/L)	0.54	0.47	0.6	0.1
大腸菌群数 (平均値) (MPN/100mL)	1.7 × 10 ⁴	-	-	-

【雨天時の状況】

項目	降雨1	降雨2	降雨3		
採水日	H30.5.23	H31.4.26	R1.6.7		
降雨量*(mm/日)	7	13	42		
平野市町抽水所 放流量(m³)	3,550	43,280	187,850		
長吉ポンプ場 放流量(m³)	0	0	121,824		
水質調査地点	①南弁天橋 (2.6k)	②大池橋 (4.0k)	③睦橋 (5.3k)	④平野川大橋 (6.9k)	⑤両国橋 (7.3k)
BOD(mg/L)	2.0	-	21	19.7	100.4
COD(mg/L)	6.8	9.5	22	19.4	54.3
SS(mg/L)	2	-	-	-	-
全窒素(mg/L)	6.8	-	-	-	-
全リン(mg/L)	0.57	-	-	-	-
大腸菌群数 (MPN/100mL)	2.4 × 10 ⁴	1.1 × 10 ²	5.78 × 10 ⁶	8.38 × 10 ⁴	4.23 × 10 ⁷

※降雨量は⑥中竹測橋(9.2k)観測局の雨量(mm/日)を示す。

実験に使用した薬剤の底質改善メカニズムの詳細に関するヒアリング結果

項目	X社	Y社	Z社																																
主な成分	硝酸カルシウム	水酸化マグネシウム（粒状） 酸化マグネシウム（粉状）	硫黄光合成細菌、脱窒菌																																
改善メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸イオン <ul style="list-style-type: none"> →酸化剤としての役割 →脱窒菌活性向上 カルシウムイオン <ul style="list-style-type: none"> →吸着剤の役割、 富栄養化抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 底泥表層（2cm程度）をpH8.0以上のアルカリ性に保つ <ul style="list-style-type: none"> →硫酸還元菌増殖抑制 →好気性バクテリア活性 	<ul style="list-style-type: none"> 硫黄光合成細菌 <ul style="list-style-type: none"> →硫化物・硫化水素の分解 脱窒菌 <ul style="list-style-type: none"> →窒素を気化・減少 																																
	<p>参考：</p> <p>①全硫化物に含まれる硫黄化合物の例 H_2S、HS^-、FeS、Fe_3S_4</p> <p>②全硫化物に含まれない硫黄化合物の例 S(単体硫黄)、SO_4^{2-}、FeS_2</p> <p>出典：改訂版底質調査方法とその解説 環境省編</p>	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸イオンの増加 <ul style="list-style-type: none"> ⇒酸化物質濃度の増加 →ORPの改善 ⇒H_2Sの酸化 $3H_2S + 2(H^+ + NO_3^-) \rightarrow 3S + 2NO + 4H_2O$ →全硫化物の削減 ⇒2価鉄の酸化($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) $FeS \rightarrow Fe^{3+} + S^{2-}$(上記$H_2S$の酸化参照) $4S^{2-} + PO_4^{3-} \rightarrow FePO_4$(不溶化・固定) →全硫化物の削減 →リン酸の固定 →富栄養化の抑制 ⇒脱窒菌の活性向上 →硝酸イオン、亜硝酸イオンの還元 →有機物の削減 カルシウムイオンの増加 <ul style="list-style-type: none"> ⇒硫酸イオンを$CaSO_4$として固定 →硫酸還元菌の活性抑制 →硫化水素の発生抑制 ⇒有機物の固定 →有機物の分解抑制 →底質酸素濃度の低下抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 底泥表層（2cm程度）をpH8.0以上のアルカリ性に保つ <ul style="list-style-type: none"> ⇒硫酸還元菌増殖抑制 →硫化水素の発生抑制 →硫化水素のイオン化促進（気体の発生抑制） <div data-bbox="869 714 1313 971" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>硫酸還元菌の増殖速度と pH の関係</caption> <thead> <tr> <th>pH</th> <th>D. acetoxidans (μ day⁻¹)</th> <th>D. propionicus (μ day⁻¹)</th> <th>D. vulgaris (μ day⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6.5</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>3.5</td><td>2.5</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>4.0</td><td>2.8</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>3.5</td><td>2.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>8.5</td><td>1.5</td><td>1.0</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>9.5</td><td>0.1</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>Vincent et al, Process Biochemistry, Vol.33., No.5., pp555-1198,1998</p> <p>図 硫酸還元菌の増殖速度と pH の関係</p> <ul style="list-style-type: none"> 好気性細菌の活性化 →有機物の削減 ⇒リン酸の溶出抑制 →富栄養化の抑制 	pH	D. acetoxidans (μ day⁻¹)	D. propionicus (μ day⁻¹)	D. vulgaris (μ day⁻¹)	6.5	1.0	1.0	1.0	7.0	3.5	2.5	1.5	7.5	4.0	2.8	1.5	8.0	3.5	2.5	1.2	8.5	1.5	1.0	0.5	9.0	0.5	0.2	0.1	9.5	0.1	0.0	0.0
pH	D. acetoxidans (μ day⁻¹)	D. propionicus (μ day⁻¹)	D. vulgaris (μ day⁻¹)																																
6.5	1.0	1.0	1.0																																
7.0	3.5	2.5	1.5																																
7.5	4.0	2.8	1.5																																
8.0	3.5	2.5	1.2																																
8.5	1.5	1.0	0.5																																
9.0	0.5	0.2	0.1																																
9.5	0.1	0.0	0.0																																

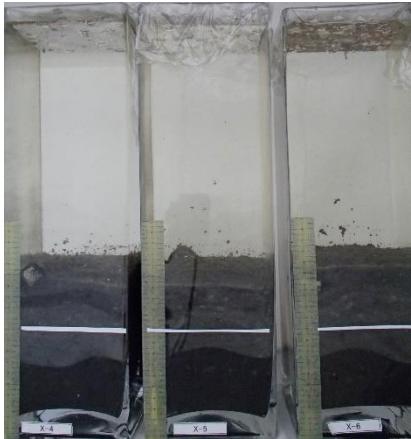
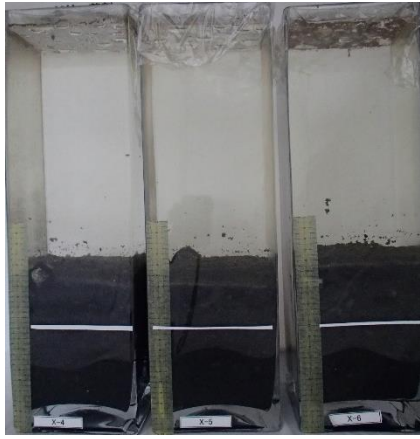

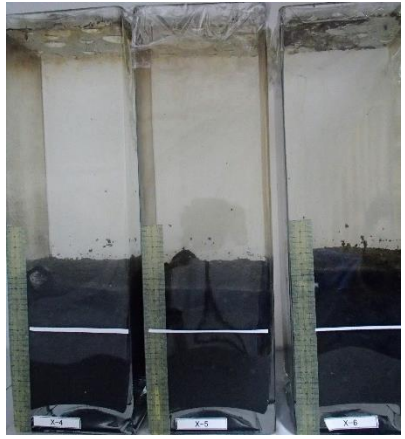
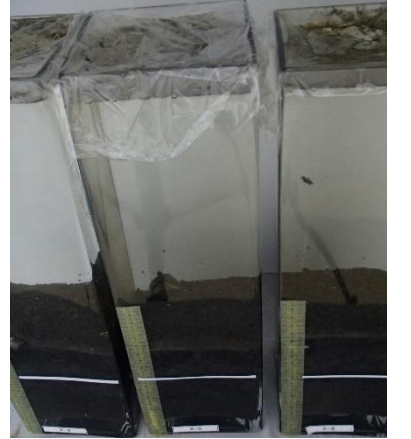



	8月31日：0日目	9月3日：3日目	9月14日：14日目	9月29日：29日目
側面				
上部				
特徴	底泥の巻き上がりが収まったことを確認。	底泥中に気泡が発生。 発生した気泡による底泥の隆起及び浮遊が見られた。	 水中に浮遊物あり	気泡は不定期に発生。 気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束傾向。 水層は気泡による底泥の巻き上げにより、灰黄色で濁りが見られた。


【対照】

室内実験の経過状況

	10月5日：35日目	10月12日：42日目	10月19日：49日目	10月30日：60日目
側面				
上部				
特徴	<p>気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束。 外観に変化なし。</p>			


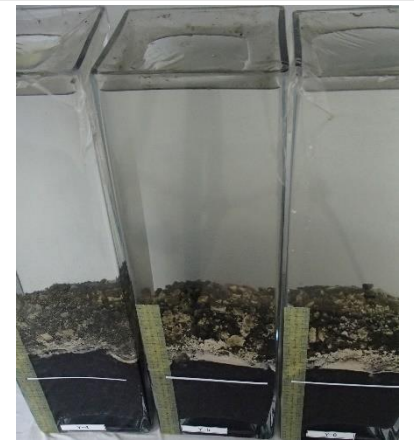
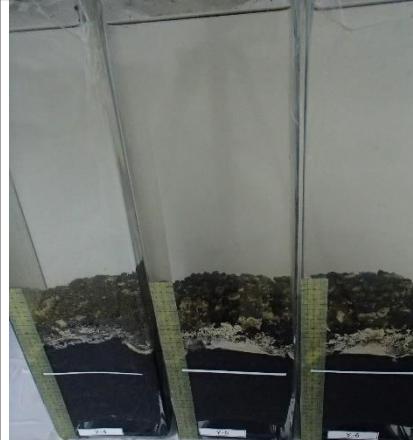
	8月31日：0日目	9月3日：3日目	9月14日：14日目	9月29日：29日目
側面				
上部				
特徴	<p>投入量：13g/水槽 13gになるよう薬剤を砕いた。</p> <p>薬剤投入後、 変化なし。</p> 	<p>発生した気泡による底泥の 隆起及び浮遊が見られた。</p> <p>表面隆起、 亀裂。 気泡層あり。</p> 	<p>薬剤（錠剤）が底泥表面より 沈下してきた。</p> <p>気泡により底泥が2~3cm 隆起し、浮遊していた。</p>	<p>気泡は不定期に発生。</p> <p>気泡による底泥の隆起及び 浮遊は収束傾向。</p> <p>水層は灰黄色、濁りはない。</p> <p>底泥上部が黄色味を帯びた 色になり、下部に向かって グラデーションとなっていた。</p>

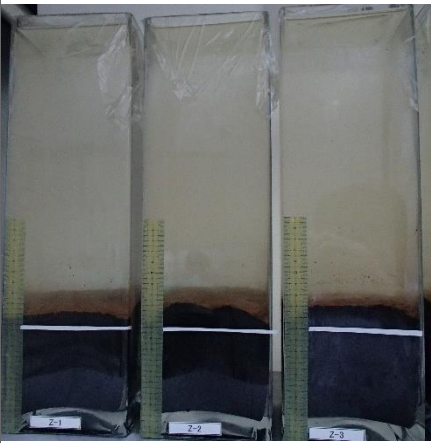
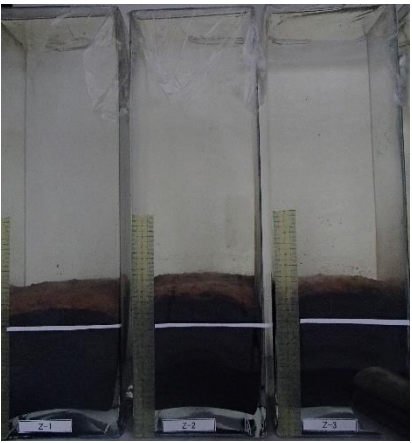
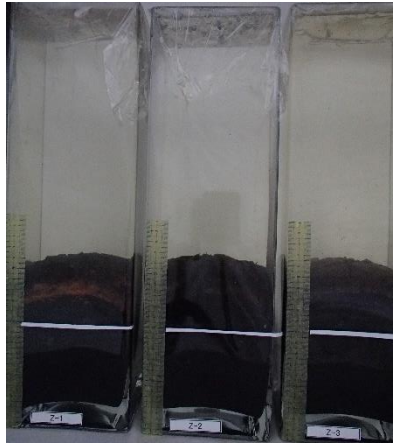
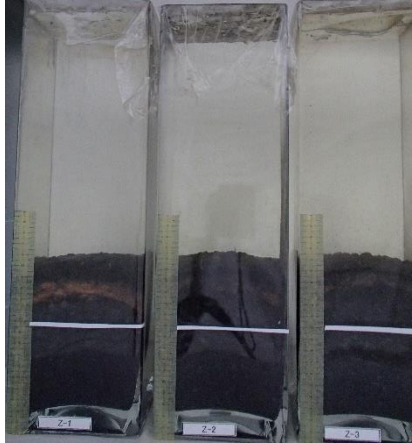
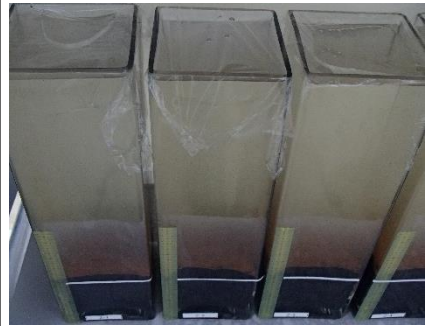

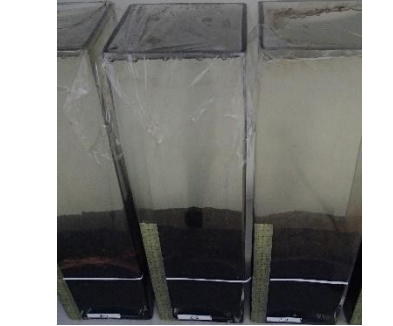

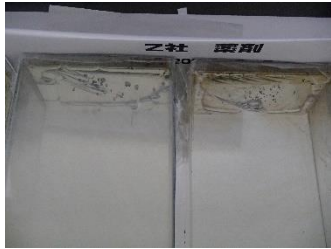
	10月5日：35日目	10月12日：42日目	10月19日：49日目	10月30日：60日目
側面				
上部				
特徴	<p>気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束。 外観に変化なし。</p>			

	8月31日：0日目	9月3日：3日目	9月14日：14日目	9月29日：29日目
側面				
上部				
特徴	<p>投入量：43.2g/水槽 （顆粒状、粉末状とも21.6g）</p> <p>表面を薬剤が覆った状態。 水層はやや白濁。</p>	<p>底泥中に気泡が発生。</p> <p>発生した気泡による底泥の隆起及び浮遊が見られた。</p> <p>薬剤による水槽中の白濁は沈降した。</p>	<p>底泥上の薬剤の層に亀裂が入り、表面に底質が見える状態。</p> <p>上部に浮遊物。</p> 	<p>気泡は不定期に発生。</p> <p>気泡による底泥の隆起は4cm程度。</p> <p>水層は灰黄色、濁りはない。</p>

【Y社】

室内実験の経過状況

	10月5日：35日目	10月12日：42日目	10月19日：49日目	10月30日：60日目
側面				
上部				
特徴	<p>気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束。 外観に変化なし。</p>			

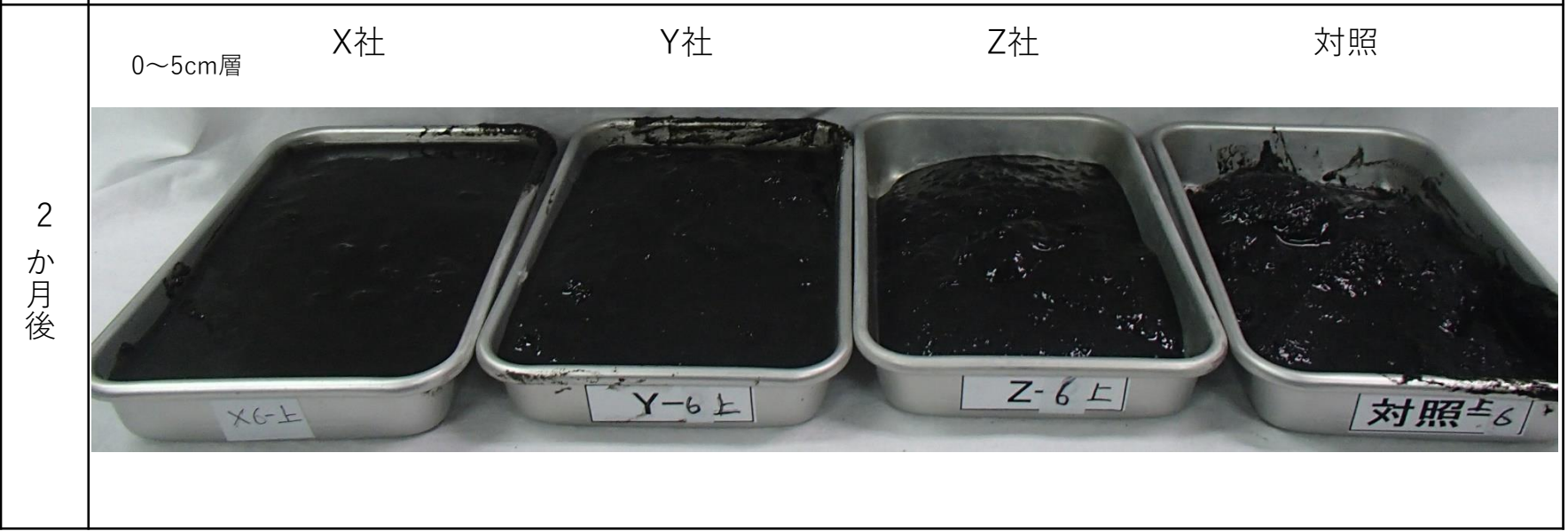
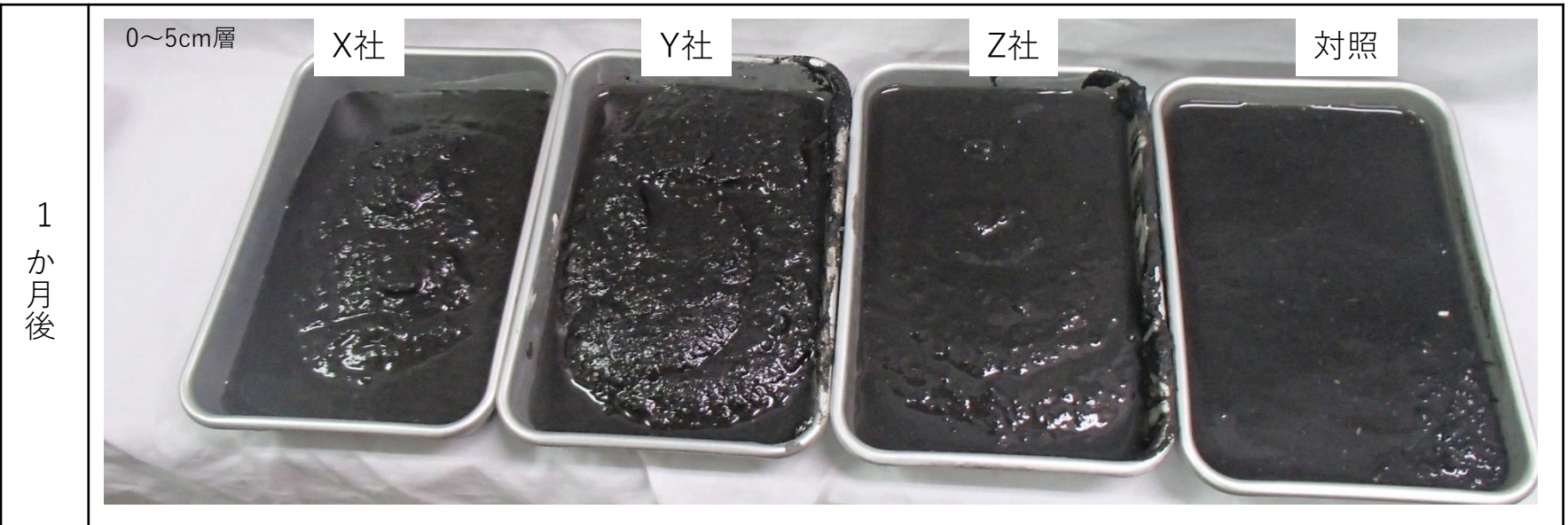
	8月31日：0日目	9月3日：3日目	9月14日：14日目	9月29日：29日目
側面				
上部				
特徴	<p>投入量：2.4g/水槽 不織布から粉末を取り出し、投入した。</p> <p>表面を薬剤等が覆った状態。 水層はやや灰黄色。</p>	<p>全底泥中に気泡が発生。</p> <p>発生した気泡による底泥の隆起及び浮遊が見られた。</p> <p>検体の底泥表面に糸状物質あり。1検体、クモの巣状の膜あり。</p>	<p>全検体の底泥表面に亀裂。1検体、不定期に気泡あり。</p> 	<p>気泡は不定期に発生。</p> <p>気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束傾向。</p> <p>水層は気泡による底泥の巻き上げにより、灰黄色で濁りが見られた。</p>

【Z社】

室内実験の経過状況

	10月5日：35日目	10月12日：42日目	10月19日：49日目	10月30日：60日目
側面				
上部				
特徴	<p>気泡による底泥の隆起及び浮遊は収束。 外観に変化なし。</p>			

室内実験の経過状況








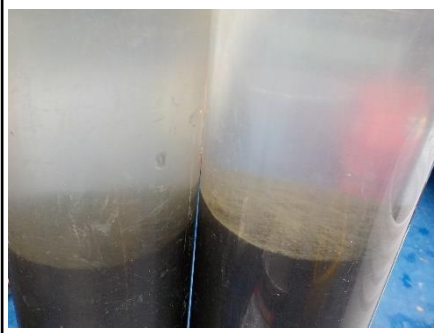




底泥試料における薬剤由来のTOC濃度

	試料名	①TOC含有量 (mg/g)	②薬剤散布量 (g/水槽)	③=①×② 残存薬剤由来 TOC(mg/水槽)	④底泥量 (g-dry)	⑤=③/④ 残存薬剤由来TOC濃度(mg/g)	
1か月後	X薬剤	130	13.0	1690	351.5	4.81	5.0
			13.4	1742	330.2	5.28	
			13.3	1729	353.8	4.89	
	Y薬剤 (顆粒状)	3.7	21.6	79.9	448.8	0.2	0.2
	Y薬剤 (粉末状)	0.7	21.6	15.1			
	Z薬剤	<0.1	2.4	—	363.8	—	—
2か月後	試料名	①TOC含有量 (mg/g)	②薬剤散布量 (g/水槽)	③=①×② 残存薬剤由来 TOC(mg/水槽)	④底泥量 (g-dry)	⑤=③/④ 残存薬剤由来TOC濃度(mg/g)	
	X薬剤	130	13.0	1690	351.5	4.81	5.0
			13.6	1742	330.2	5.28	
			13.0	1729	353.8	4.89	
	Y薬剤 (顆粒状)	3.7	21.6	79.9	403.0	0.2	0.2
	Y薬剤 (粉末状)	0.7	21.6	15.1			
Z薬剤	<0.1	2.4	—	419.6	—	—	

薬剤由来のTOC濃度は全ての薬剤成分が底質に移動したと仮定
 (錠剤式のX薬剤においても形状(重量)が残っていることと薬剤成分の残存量は無関係のため：メーカーヒアリング)






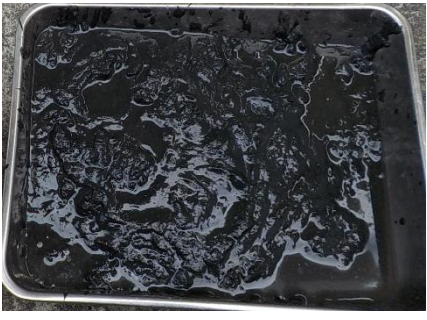





コアの状況

	X社	Y社	Z社	対照区
散布前 8/25			未撮影	未撮影
散布後 2週間 9/10				
散布後 1か月 9/29				





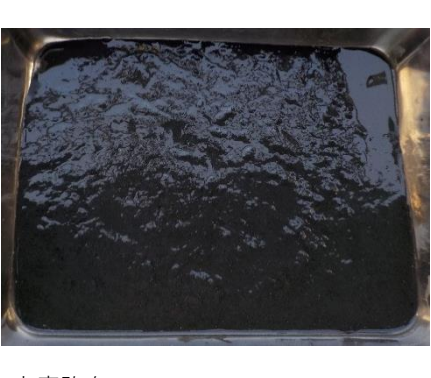



コアの状況

	X社	Y社	Z社	対照区
散布後 2 か月 10/29				
散布後 3 か月 11/26				




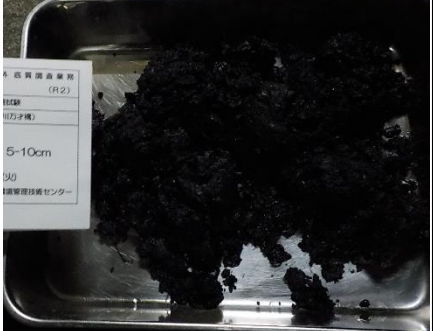
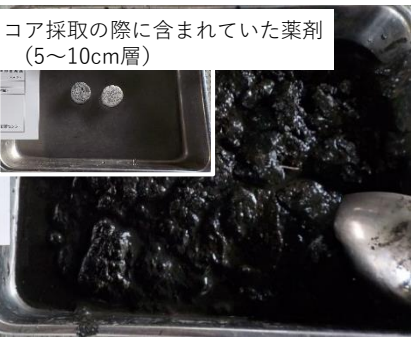







底泥の状況 (0~5cm層)

	X社	Y社	Z社	対照区
散布前				
8/25	腐敗臭。	腐敗臭。浮泥が多い。	腐敗臭。浮泥が多い。	腐敗臭。
散布後2週間	未撮影			
9/10	腐敗臭。浮泥が多い。	腐敗臭。浮泥が多い。 薬剤の目視確認なし。(容器洗い時に確認)	腐敗臭。浮泥が多い。	腐敗臭。浮泥が多い。
散布後1か月				
9/29	腐敗臭。当初より色味が明るくなった。	腐敗臭。当初より色味が明るくなった。 薬剤の目視確認なし。	腐敗臭。当初より色味が明るくなった。	腐敗臭。

底泥の状況 (0~5cm層)

	X社	Y社	Z社	対照区
散布後 2か月 10/29	 <p>弱油臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>弱油臭。</p>
散布後 3か月 11/26	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>

底泥の状況 (5~10cm層)

	X社	Y社	Z社	対照区
散布前 8/25	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>
散布後 2週間 9/10	<p>コア採取の際に含まれていた薬剤 (5~10cm層)</p>  <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>	 <p>中腐敗臭。</p>
散布後 1ヶ月 9/29	 <p>弱油臭。</p>	 <p>弱油臭。</p>	 <p>弱油臭。</p>	 <p>弱油臭。</p>

底泥の状況 (5~10cm層)

X社

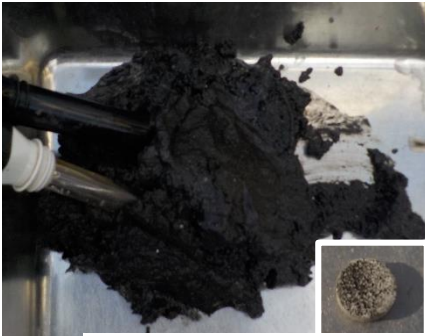
Y社

Z社

対照区

散布後
2
か月

10/29



コア採取の際に含まれていた薬剤

弱油臭。



弱油臭。



弱油臭。植物片の夾雑物やや多い。



弱油臭。

散布後
3
か月

11/26



弱油臭。



弱油臭。落ち葉の夾雑物多い。



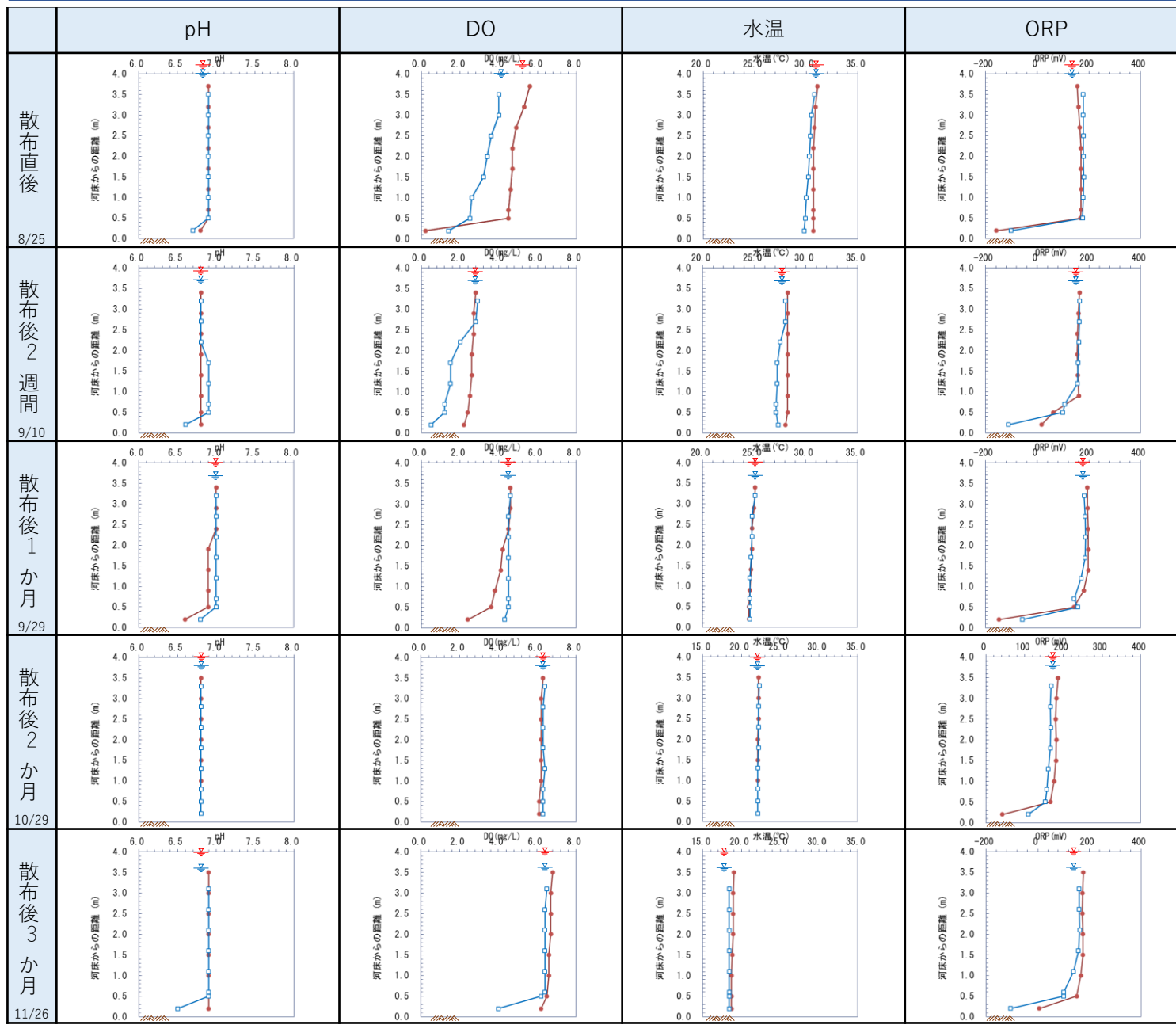
弱油臭。



弱油臭。

【参考資料】実証実験時の水質測定結果(測定日別)

水質測定結果 (測定日別)



凡例

万才橋 (X,Y,対照)



猪飼野新橋 (Z)



細菌叢分析結果

散布前及び散布後の細菌叢

【散布前の細菌叢の状態】

- ・実験区及び対照区の細菌叢は類似の傾向を示しており、差はなかった。（細菌の構成の初期条件は同じと考えられる）
- ・一般的にORPが-200mV以下で優占するメタン生成菌が全地点で10%程度を占めていた。
- ・デルタプロテオバクテリア綱に含まれる典型的な硫酸還元菌の割合は1%程度であった。

【散布後の細菌叢】

- ・**メタン生成菌**：実験開始時に比べ2か月後は、いずれの実験区でもメタン生成菌の割合は減少していた。メタン生成菌の減少は、泥温の低下によるものと推定される。
- ・**硫酸還元菌**：実験開始時に比べ2か月後は、X社及びY社では変化はなかったがZ社は増加していた。

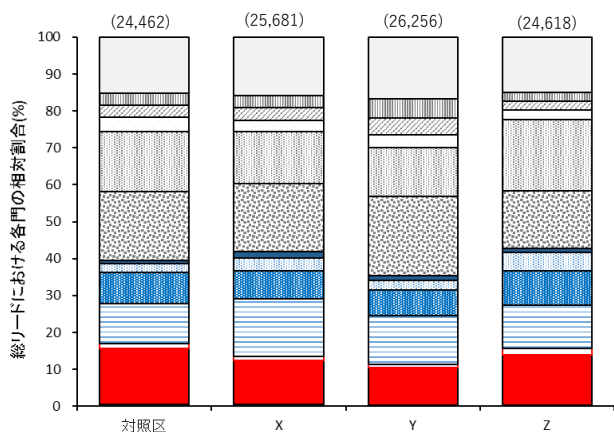


図 薬剤散布前の各実験区の細菌叢

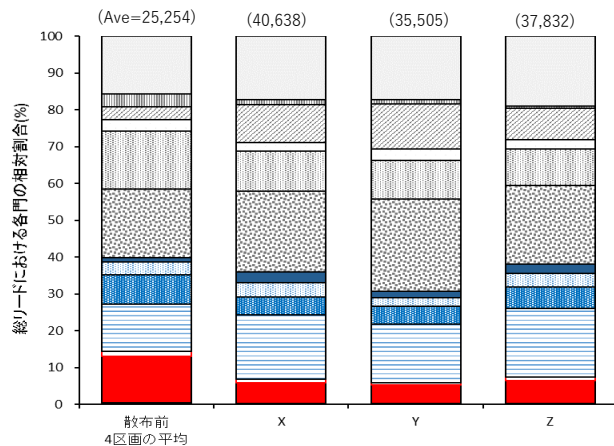
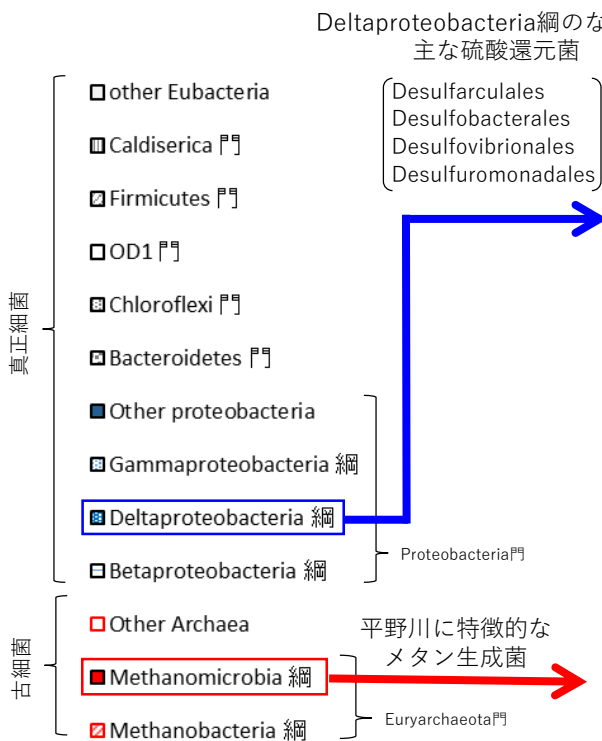


図 薬剤散布後の各実験区の細菌叢



リード：遺伝子分析を実施したDNA断片（リード数）

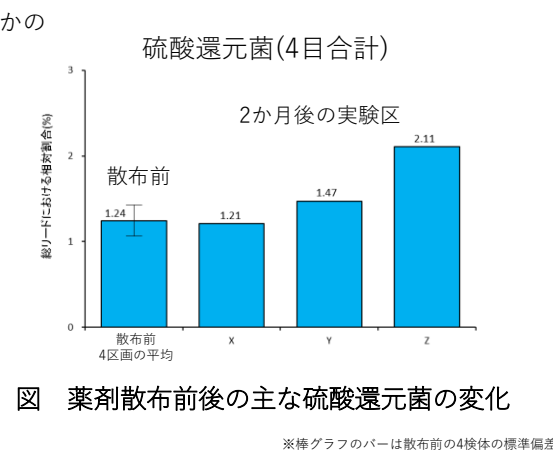


図 薬剤散布前後の主な硫酸還元菌の変化

※棒グラフのバーは散布前の4検体の標準偏差

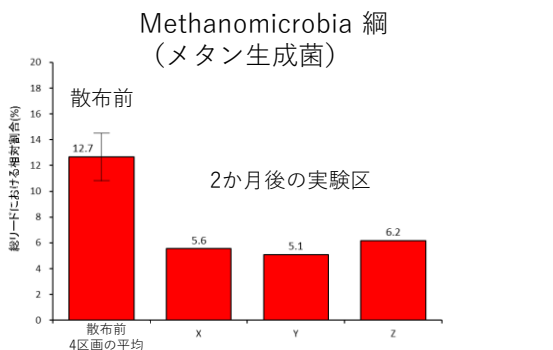


図 薬剤散布前後の主なメタン生成菌の変化

※棒グラフのバーは散布前の4検体の標準偏差

細菌叢分析結果

主要な細菌類の出現割合

細菌叢の分析結果（メタン生成菌のみ抜粋）

単位：%

	総リード数に占める割合								備考
	散布前					2か月後			
	対照区	X	Y	Z	平均	X	Y	Z	
Euryarchaeota門	16.02	12.65	10.62	14.38	13.42	6.06	5.46	6.75	メタン生成菌を含む門
Methanobacteria綱	0.46	0.46	0.39	0.35	0.41	0.28	0.21	0.26	CO ₂ /H ₂ からメタンを生成する属が含まれる綱
Methanomicrobia綱	15.15	11.90	10.10	13.53	12.67	5.58	5.10	6.19	酢酸からメタンを生成する属が含まれる綱
Methanosaeta属	12.13	9.75	7.90	11.44	10.30	4.40	3.89	5.04	Methanomicrobia綱のうち、酢酸をからメタンを生成する属。 ・Methanosaeta属は酢酸が低濃度の場合に優占。 ・Methanosarcina属は高濃度の場合に優占
Methanosarcina属	0.19	0.03	0.00	0.00	0.06	0.09	0.09	0.11	絶対嫌気性*

※偏性嫌気性ともいう、酸素が存在すると生育不可能

細菌叢の分析結果（硫酸還元菌のみ抜粋）

単位：%

	総リード数に占める割合								備考
	散布前					2か月後			
	対照区	X	Y	Z	平均	X	Y	Z	
Proteobacteria門	22.63	28.41	24.18	27.16	25.60	29.28	24.83	30.85	
Deltaproteobacteria綱	8.38	7.43	7.00	9.18	8.00	4.84	4.87	5.77	
Desulfarculales目	0.07	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	
Desulfobacterales目	0.35	0.48	0.37	0.34	0.38	0.51	0.59	0.61	
Desulfovibrionales目	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.24	0.26	0.29	Deltaproteobacteria綱のうち、代表的な硫酸還元菌(目) 絶対嫌気性*
Desulfuromonadales目	0.86	0.65	0.62	1.11	0.81	0.45	0.63	1.18	
上記4目合計	1.28	1.19	0.99	1.50	1.24	1.21	1.47	2.11	

※偏性嫌気性ともいう、酸素が存在すると生育不可能

散布前及び散布後の細菌叢の変化

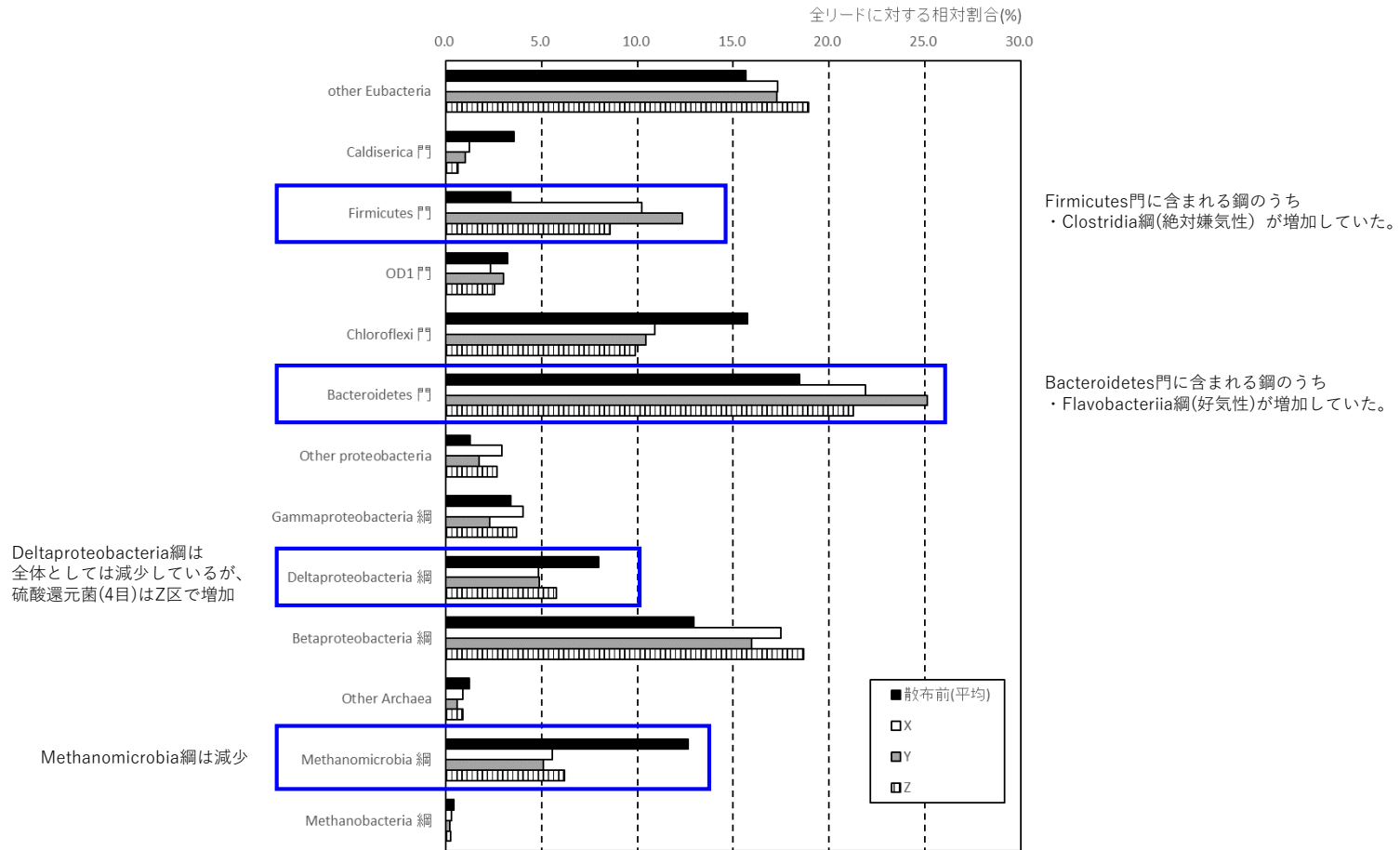
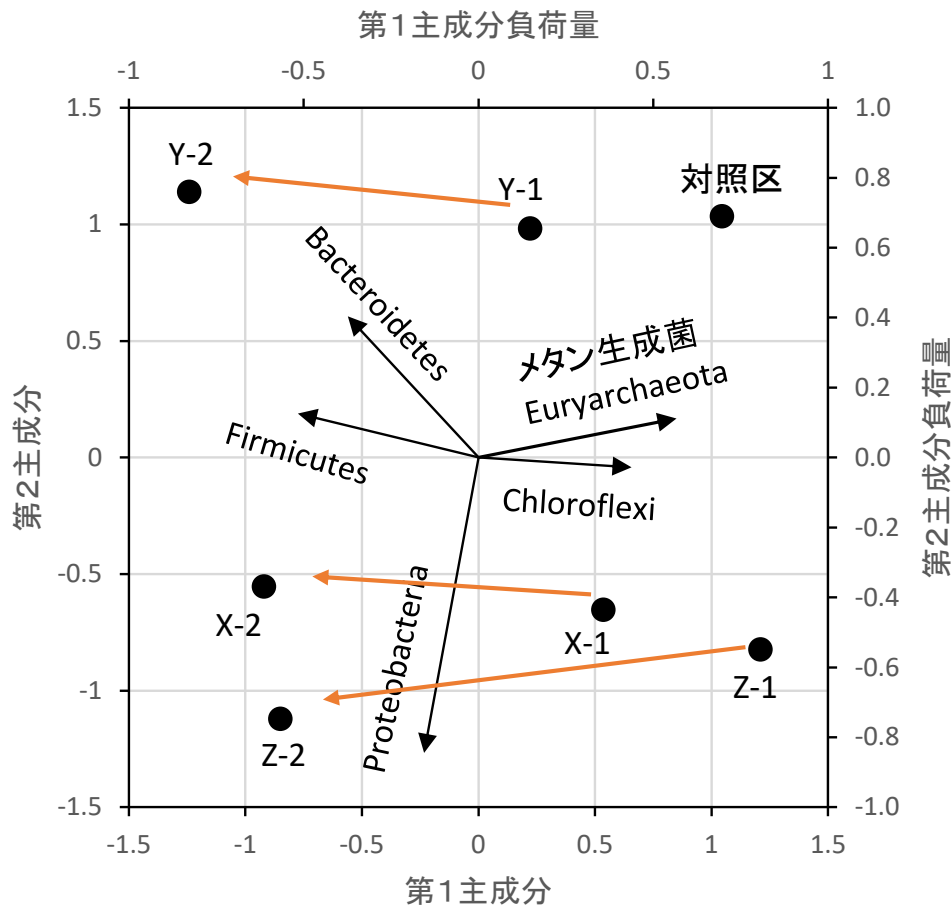


図 薬剤散布前後の細菌叢の変化

門レベルの主成分分析

微生物群集構造の類似する試料は、類似の主成分得点を示し、図中で近くにプロットされる。二ヵ月後には、どの試料も第1主成分が正值から負値になった。この場合、第1主成分が季節変化、第2主成分が区画の微妙な違いを表しているように推測できる。

主成分負荷量は、Euryarchaeota門（メタン生成菌）の比率減少、Firmicutes門やBacteroidetes門の比率増加を示している。綱レベルではFirmicutes門Clostridia綱（絶対嫌気性）とBacteroidetes門Flavobacteriia綱（好気性）の比率が増えていた。

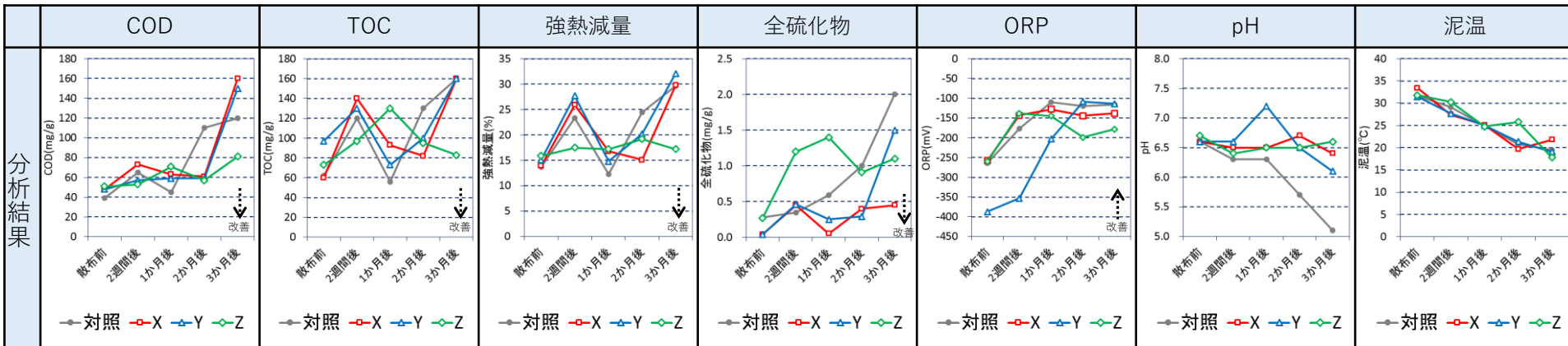


参考

- 1) 平野川では門レベルで61門の微生物群集が確認された。それを主成分分析により2次元に集約した結果である。
 - 2) 図中、ベクトルで示される因子負荷量を見ると、第一主成分は、Euryarchaeota門（メタン生成菌）の増加、Firmicutes門やBacteroidetes門の減少と相関が強く、第二主成分はProteobacteria門の減少やBacteroidetes門の増加と相関が強いことを示している。
 - 3) 各試料の主成分プロットを見ると、散布前は第一主成分において、対照区とZ-1、Y-1とX-1が、第二主成分において対照区とY-1、X-1とZ-1の類似性が高い。2ヵ月後の試料ではX-2、Y-2、Z-2は第一主成分の類似性が高いものの、第二主成分では、X-2、Y-2とY-1は類似性は小さい結果となっている。
 - 4) 散布前から、2ヵ月後の変化を見ると、いずれの実験区も、第一主成分は正から負に変化したが、第二主成分に大きな変化はなかった。
 - 5) 第一主成分の正から負への変化は、細菌叢におけるEuryarchaeota門（メタン生成菌）の比率減少、Firmicutes門やBacteroidetes門の比率増加を示している。
 - 6) 第二主成分に大きな変化がないことは、Proteobacteria門の比率に大きな変化がないことを示している。
- ※主成分分析は対象試料のみの差異を分析するため、差異は相対的なものである。（グラフの中心点は分析した7試料の平均値を示す）

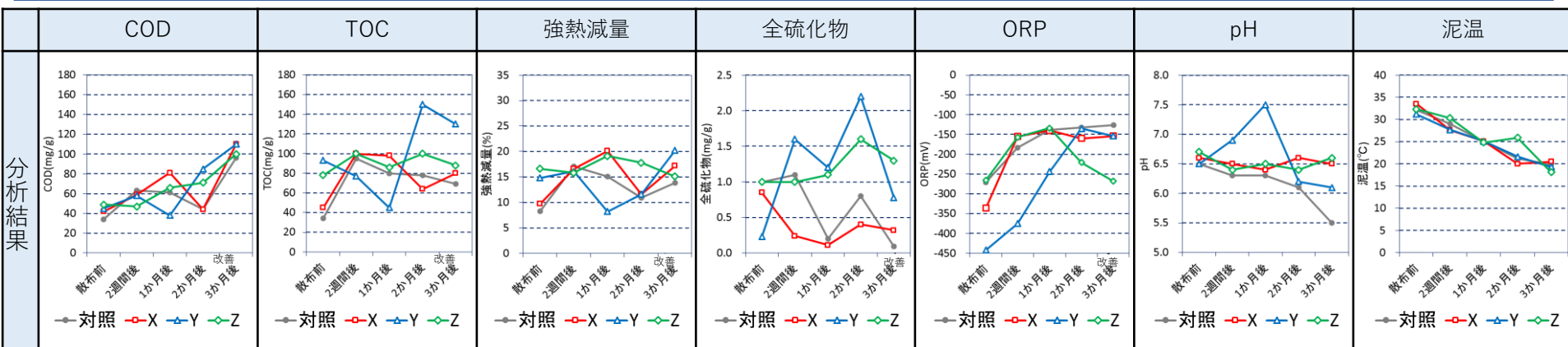
実証実験 底質分析結果一覽

底質分析結果 (0~5cm層)



サンプル	COD (mg/g)					TOC (mg/g)					強熱減量 (%)					全硫化物 (mg/g)					ORP (mV)					pH					泥温 (°C)				
	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
対照区	39	65	45	110	120	62	120	56	130	160	13.7	23.3	12.3	24.5	29.7	0.28	0.35	0.59	1.00	2.00	-264	-177	-110	-119	-116	6.6	6.3	6.3	5.7	5.1	31.7	29.1	24.9	20.8	19.5
X	48	73	63	61	160	60	140	93	82	160	13.9	25.9	16.8	15.1	29.8	0.04	0.45	0.05	0.40	0.45	-258	-143	-128	-144	-138	6.6	6.5	6.5	6.7	6.4	33.4	27.4	25.1	19.7	21.8
Y	48	57	59	59	150	97	130	73	100	160	15.1	27.7	14.8	20.2	32.1	0.04	0.46	0.25	0.29	1.50	-387	-353	-203	-108	-114	6.6	6.6	7.2	6.5	6.1	31.5	27.7	25	21.4	19.1
Z	51	53	71	57	81	73	97	130	95	83	15.9	17.5	17.2	19.2	17.2	0.27	1.20	1.40	0.91	1.10	-260	-138	-145	-199	-178	6.7	6.4	6.5	6.5	6.6	31.8	30.3	24.8	25.8	17.8

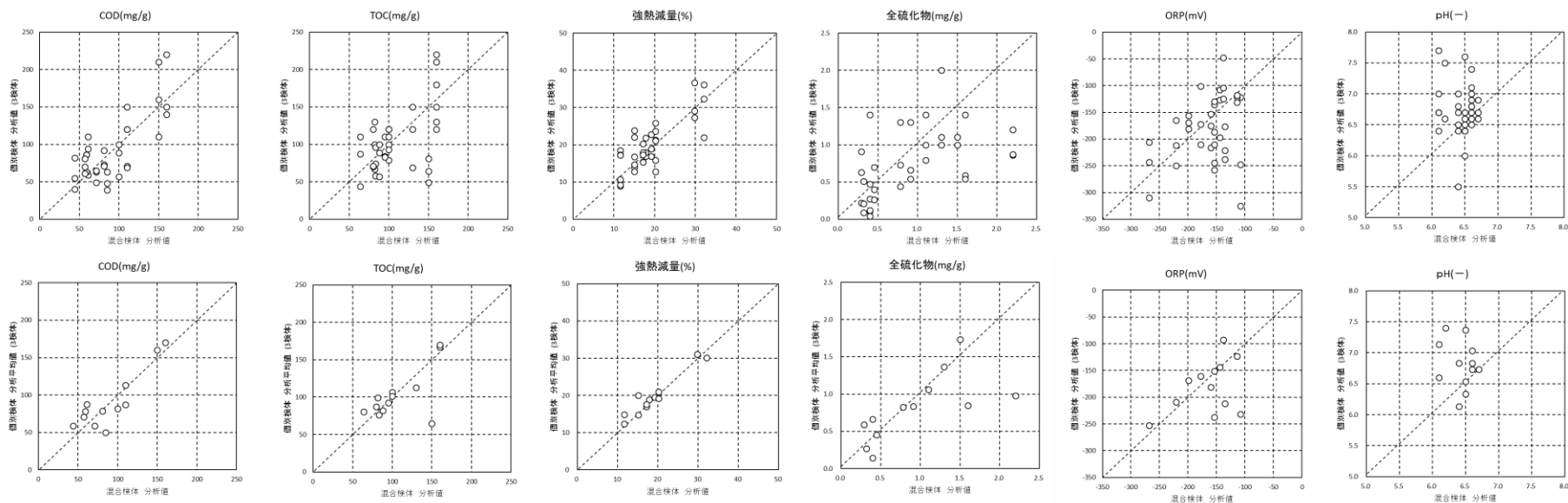
底質分析結果 (5~10cm層)



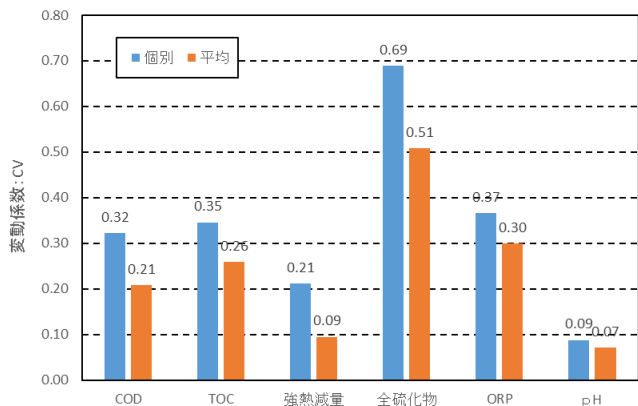
サンプル	COD (mg/g)					TOC (mg/g)					強熱減量 (%)					全硫化物 (mg/g)					ORP (mV)					pH					泥温 (°C)				
	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後	散布前	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
対照区	34	63	61	44	96	34	95	80	78	69	8.3	17.1	15.1	10.9	13.8	1.00	1.10	0.20	0.80	0.09	-271	-183	-138	-133	-126	6.5	6.3	6.3	6.1	5.5	32.1	29	25	21.2	19.8
X	42	59	81	44	110	45	100	98	64	80	9.7	16.6	20.1	11.6	17.2	0.85	0.24	0.11	0.40	0.32	-336	-155	-140	-160	-154	6.6	6.5	6.4	6.6	6.5	33.5	27.6	25.1	20	20.5
Y	45	58	38	85	110	93	77	45	150	130	14.8	16.1	8.2	11.6	20.2	0.23	1.60	1.20	2.20	0.78	-442	-375	-244	-135	-154	6.5	6.9	7.5	6.2	6.1	31.2	27.7	25.1	21.6	19.3
Z	49	47	66	71	100	78	100	86	100	88	16.6	15.8	19.1	17.8	15.1	1.00	1.00	1.10	1.60	1.30	-266	-157	-134	-221	-268	6.7	6.4	6.5	6.4	6.6	32.3	30.3	24.8	25.9	18.1

底質試料の分析値のバラツキに関する検討

対象：実証実験、2か月後、3か月の分析サンプル（X社、Y社、Z社）
1箇所3サンプル+混合1試料 = 合計4試料の分析結果より



- ・混合試料とのバラツキ(偏差)は全硫化物で最も大きく、次いでORP、TOC、COD、強熱減量。pHが最も小さい。
 - ・個別3サンプルと3サンプルの平均値を比較すると、平均値で混合試料とのバラツキ(偏差)は小さくなる。
- 基準値～1か月後まで混合試料の分析値を用いていることから、評価(検証)は同様に混合試料の分析値を用いる。



一方、分析値は一定のバラツキを含んだものであることから、評価(検証)には、標準偏差※を参考に、一定以上の変化に着目する。
(細かい変動や差異は分析値のバラツキと峻別できないため)

※個別3サンプル平均と混合試料の偏差に対する標準偏差

	単位	標準偏差
COD	mg/g	19
TOC	mg/g	27
強熱減量	%	1.8
全硫化物	mg/g	0.44
ORP	mV	52
pH	-	0.5

評価式の計算シート

計算シート (TOC)

上層(0-5cm)

①TOC(0-5)生データ

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	60	140	93	82	160
Y	97	130	73	100	160
Z	73	97	130	95	83
対照	62	120	56	130	160

②TOC(0-5)地点補正

試料名	K	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.03	62	145	96	85	165
Y	0.64	62	83	47	64	102
Z	0.85	62	82	110	81	70
対照		62	120	56	130	160

③TOC(0-5)地点補正+経時補正

試料名	K1	K2	K3	K4	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.52	1.11	0.48	0.39	62	75	106	40	64
Y	0.52	1.11	0.48	0.39	62	43	52	30	40
Z	0.52	1.11	0.48	0.39	62	43	122	38	27
対照	0.52	1.11	0.48	0.39	62	62	62	62	62

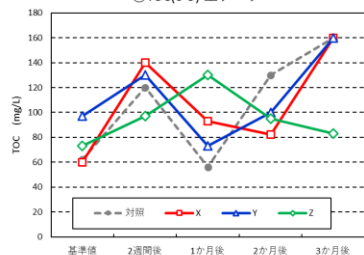
④TOC(0-5)基準値=1

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.00	1.21	1.72	0.65	1.03
Y	1.00	0.69	0.83	0.49	0.64
Z	1.00	0.69	1.97	0.62	0.44
対照	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

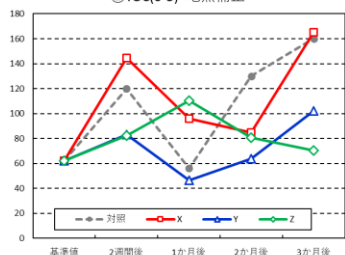
⑤TOC(0-5)変化率 基準値との比較

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0%	-21%	-72%	35%	-3%
Y	0%	31%	17%	51%	36%
Z	0%	31%	-97%	38%	56%
対照					

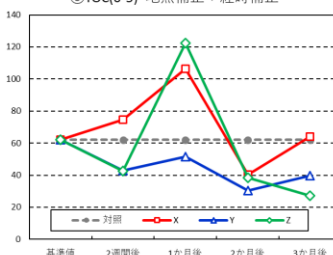
①TOC(0-5)生データ



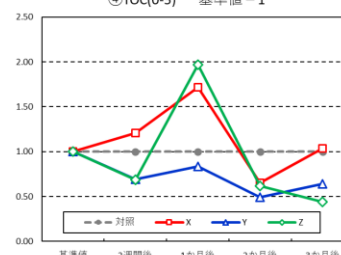
②TOC(0-5)地点補正



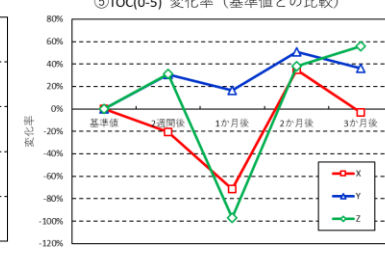
③TOC(0-5)地点補正+経時補正



④TOC(0-5)基準値=1



⑤TOC(0-5)変化率 (基準値との比較)



下層(5-10cm)

①TOC(5-10)生データ

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	45	100	98	64	80
Y	93	77	45	150	130
Z	78	100	86	100	88
対照	34	95	80	78	69

②TOC(5-10)地点補正

試料名	K	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.76	34	76	74	48	60
Y	0.37	34	28	16	55	48
Z	0.44	34	44	37	44	38
対照		34	95	80	78	69

③TOC(5-10)地点補正+経時補正

試料名	K1	K2	K3	K4	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.36	0.43	0.44	0.49	34	27	31	21	30
Y	0.36	0.43	0.44	0.49	34	10	7	24	23
Z	0.36	0.43	0.44	0.49	34	16	16	19	19
対照	0.36	0.43	0.44	0.49	34	34	34	34	34

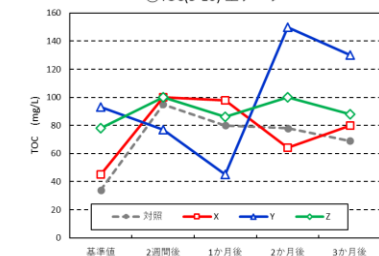
④TOC(5-10)基準値=1

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.00	0.80	0.93	0.62	0.88
Y	1.00	0.30	0.21	0.70	0.69
Z	1.00	0.46	0.47	0.56	0.56
対照	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

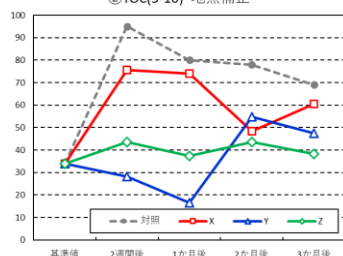
⑤TOC(5-10)変化率 (基準値との比較)

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0%	20%	7%	38%	12%
Y	0%	70%	79%	30%	31%
Z	0%	54%	53%	44%	44%
対照					

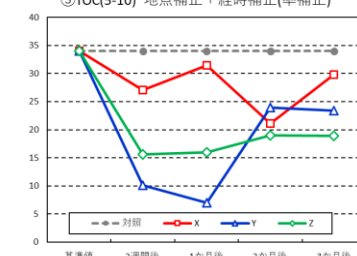
①TOC(5-10)生データ



②TOC(5-10)地点補正



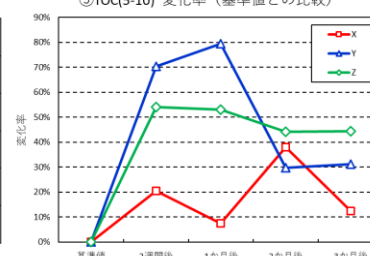
③TOC(5-10)地点補正+経時補正(率補正)



④TOC(5-10)基準値=1



⑤TOC(5-10)変化率 (基準値との比較)



評価式の計算シート

計算シート (全硫化物)

上層(0-5cm)

①TS(0-5)生データ

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.04	0.45	0.05	0.40	0.45
Y	0.04	0.46	0.25	0.29	1.50
Z	0.27	1.20	1.40	0.91	1.10
対照	0.28	0.35	0.59	1.00	2.00

②TS(0-5) 地点補正

試料名	K	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	7.00	0.28	3.15	0.35	2.80	3.15
Y	7.00	0.28	3.22	1.75	2.03	10.50
Z	1.04	0.28	1.24	1.45	0.94	1.14
対照		0.28	0.35	0.59	1.00	2.00

③TS(0-5) 地点補正 + 経時補正

試料名	K1	K2	K3	K4	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.80	0.47	0.28	0.14	0.28	2.52	0.17	0.78	0.44
Y	0.80	0.47	0.28	0.14	0.28	2.58	0.83	0.57	1.47
Z	0.80	0.47	0.28	0.14	0.28	1.00	0.69	0.26	0.16
対照	0.80	0.47	0.28	0.14	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

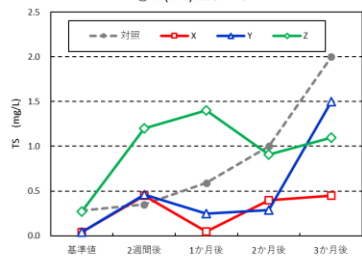
④TS(0-5) 基準値=1

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.00	9.00	0.59	2.80	1.58
Y	1.00	9.20	2.97	2.03	5.25
Z	1.00	3.56	2.46	0.94	0.57
対照	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

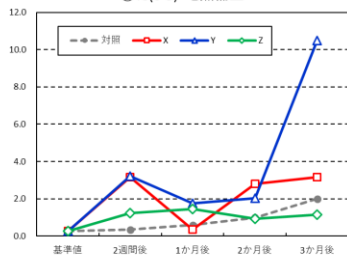
⑤TS(0-5) 変化率

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0%	-800%	41%	-180%	-58%
Y	0%	-820%	-197%	-103%	-425%
Z	0%	-256%	-146%	6%	43%
対照					

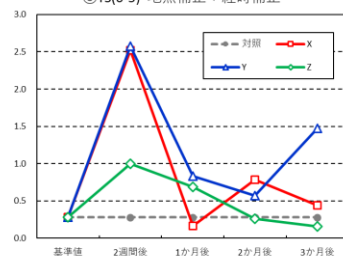
①TS(0-5) 生データ



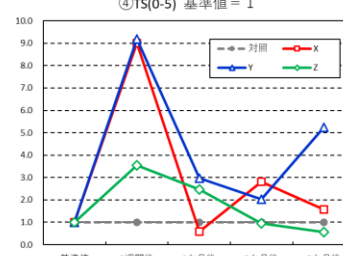
②TS(0-5) 地点補正



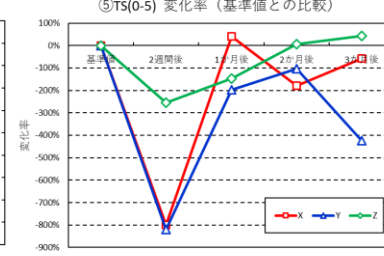
③TS(0-5) 地点補正 + 経時補正



④TS(0-5) 基準値 = 1



⑤TS(0-5) 変化率 (基準値との比較)



下層(5-10cm)

①TS(5-10)生データ

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.85	0.24	0.11	0.40	0.32
Y	0.23	1.60	1.20	2.20	0.78
Z	1.00	1.00	1.10	1.60	1.30
対照	1.00	1.10	0.20	0.80	0.09

②TS(5-10) 地点補正

試料名	K	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.18	1.00	0.28	0.13	0.47	0.38
Y	4.35	1.00	6.96	5.22	9.57	3.39
Z	1.00	1.00	1.00	1.10	1.60	1.30
対照		1.00	1.10	0.20	0.80	0.09

③TS(5-10) 地点補正 + 経時補正

試料名	K1	K2	K3	K4	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0.91	5.00	1.25	11.11	1.00	0.26	0.65	0.59	4.18
Y	0.91	5.00	1.25	11.11	1.00	6.32	26.09	11.96	37.68
Z	0.91	5.00	1.25	11.11	1.00	0.91	5.50	2.00	14.44
対照	0.91	5.00	1.25	11.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

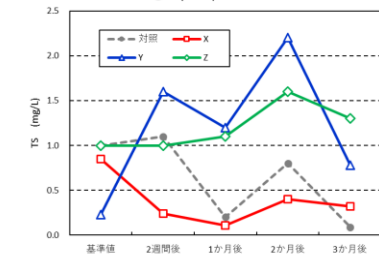
④TS(5-10) 基準値=1

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	1.00	0.26	0.65	0.59	4.18
Y	1.00	6.32	26.09	11.96	37.68
Z	1.00	0.91	5.50	2.00	14.44
対照	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

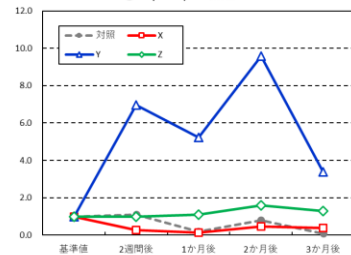
⑤TS(5-10) 変化率

試料名	基準値	2週間後	1か月後	2か月後	3か月後
X	0%	74%	35%	41%	-318%
Y	0%	-532%	-2509%	-1096%	-3668%
Z	0%	9%	-450%	-100%	-1344%
対照					

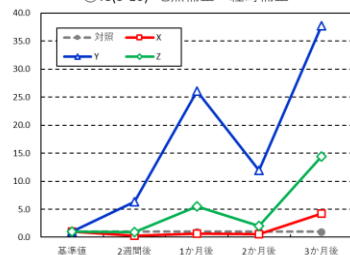
①TS(5-10) 生データ



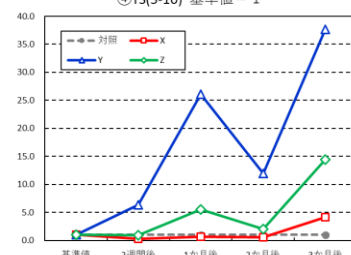
②TS(5-10) 地点補正



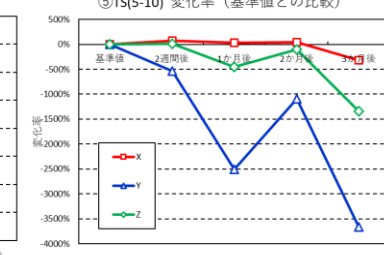
③TS(5-10) 地点補正 + 経時補正



④TS(5-10) 基準値 = 1



⑤TS(5-10) 変化率 (基準値との比較)



用語集

分析項目に関する用語

BOD（生物化学的酸素要求量）※1

水中の微生物が汚濁物等を酸化分解する際に必要とする酸素量で、有機物による水質汚濁の指標として使われる。

COD（化学的酸素要求量）※1

試料に酸化剤を加えて一定の条件下（100℃、30分間）で反応させ、そのとき消費した酸化剤の量を酸素の量に換算したもの。有機物による水質汚濁の指標として使われる。

pH（水素イオン濃度）※1

酸性やアルカリ性の程度を示す指標。水溶液中の水素イオン濃度 [H⁺] の逆数の常用対数をpHとして示すもので、pH 7 は中性、7 より大きい数値はアルカリ性、小さい数値は酸性を示す。

DO（溶存酸素量）※1

溶存酸素量水中にとけ込んでいる酸素の量。自浄作用や魚類等の水棲生物には不可欠なもので、数値が小さいほど水質汚濁が進んでいることを示す。水中における酸素の飽和量は気圧、水温、塩分等に影響され、水がきれいであるほどその温度における飽和量に近い量が含まれる（水温15度では約9mg/Lで飽和状態）。逆に富栄養化した水域や人為的汚染の進んだ水域では、大量の有機物に分解が追いつかず、DOが低くなる現象がみられる。

ORP（酸化還元電位）※2

酸化還元電位は、試料中の酸化性物質と還元性物質との平衡によって生ずる電位の基準となる電位の差をいう。プラスは酸化の状態、マイナスは還元の状態を示す。

TOC（全有機炭素）※3

水中に含まれる有機物量の指標。BOD やCOD と比べて水中の共存物質の影響を受けにくい。TOC は排水処理の管理や新たな基準値として注目されている。

全硫化物※2

硫化物は、有機性浮遊物等が底泥上に沈降し、その分解によって酸素が消費されて還元状態になると、硫酸塩還元細菌の増殖によって硫化水素（H₂S）が発生し、これによって底質中に金属等とともに生成される。このため底質が悪変し、底生生物の生息に対して影響をあたえる。さらに状態が悪くなると、底質から上層の水に対して二次的な汚染がおこる場合もある。遊離硫化物と結合硫化物との和を全硫化物としている。

強熱減量※2

強熱減量は、乾燥させた試料を高温で熱したときに消失する量の割合をいう（試料中の有機物が加熱分解され、二酸化炭素などとして大気中に放出されて重量が減少する）。強熱減量の値は、試料中に含まれる有機物等のおよその目安になる。

生物項目に関する用語

細菌叢※1

微生物叢とも言う。ある特定の環境に生息する微生物の集まり、また集合体。

硫酸還元菌※2

硫酸塩還元菌は一般に、低分子の有機酸を電子供与体にそして硫酸塩を電子受容体として異化的硫酸塩還元を行う偏性嫌気性菌である。硫酸塩は還元され硫化水素として排出される。これは自然界での硫黄サイクルの重要な経路の一つである。

メタン生成菌※3

有機物質は最終的にメタン生成菌によりメタンと炭酸ガスになる。一般的に高分子物質は加水分解酵素によって構成単位(糖、アミノ酸など)となり、これらは酸発酵され、アルコール、低級脂肪酸、水素、炭酸ガスを生成(加水分解・酸生成)し、ついでアルコール、低級脂肪酸(C₃以上)などはプロトン還元菌によって、水素および酢酸となる(水素・酢酸生成)。こうして生成したH₂/CO₂および酢酸よりメタン生成菌によってメタン化され(メタン生成)一連の反応は終結する。

脱窒菌※4

脱窒とは、嫌気条件で酸素の代わりに硝酸、亜硝酸を終末電子受容体として利用し、N₂、N₂Oを放出する現象である。このような脱窒を行う菌は多くの属にわたって知られており、いずれも通性嫌気性細菌である。また、*Thiobacillus denitrificans*を除けば、いずれも従属栄養細菌である。

生物分類体系※5

ドメイン→界→門→綱→目→科→属→種

ヒトの場合、真核生物→動物界→脊椎動物門→哺乳綱→サル（霊長）目→ヒト科→ヒト属→ヒト

古細菌※1

生物の分類の一つ。従来原核生物とされていた生物は真正細菌と古細菌に分けられ、真核生物と合わせて、全生物は大きく三つに分類される。古細菌の多くは極端な環境を好み、塩分濃度が高い環境で生育する好塩菌、高温環境を好む好熱菌、有機物からメタンを作り出してエネルギーを得るメタン生成菌などが知られている。アーキア。アルケア。始原菌。

真正細菌※1

生物の分類の一つ。大腸菌や藍藻などの一般的な細菌、バクテリアを指す。従来原核生物とされていた生物は真正細菌と古細菌に分けられ、真核生物と合わせて、全生物は大きく三つに分類される。

デルタプロテオバクテリア綱※6

プロテオバクテリア門の一種。グラム陰性菌。硫酸還元細菌、硫黄還元細菌等が含まれる。

ガンマプロテオバクテリア綱※6

プロテオバクテリア門の一種。グラム陰性菌。大腸菌やペスト菌などの病原菌、紅色硫黄細菌、硫酸酸化細菌等が含まれる。

出典) ※1：大阪府環境農林水産部環境管理室環境保全課環境監視グループHP
(<http://www.pref.osaka.lg.jp/kankyohozen/osaka-wan/kasen-term.html>、R2.11.2閲覧)

※2：国土交通省港湾局環境整備計画室HP (<https://www.mlit.go.jp/kowan/ecoport/index8.htm>、R2.11.2閲覧)

※3：環境省水・大気環境局水環境課HP (https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/archive/080/080_H27.pdf、R2.11.2閲覧)

出典) ※1：「デジタル大辞泉」小学館 (<https://kotobank.jp/word/>、R2.11.2閲覧)

※2：松井ら.硫酸塩還元菌:環境技術,Vol.18,No.4,1989,p.229

※3：西尾尚道.メタン生成菌の生理と利用:化学と生物,Vol.30,No.8,1992,p.537-538

※4：脱窒光合成細菌:化学と生物,Vol.15,No.8,1977,p.498

※5：BISMal(国際海洋環境情報センター)HP (<https://www.godac.jamstec.go.jp/bismal/j/index.html>、R2.11.2閲覧)

※6：細菌叢分析結果より