

第1回 石手川ダム水質検討委員会

説明資料

平成27年10月13日

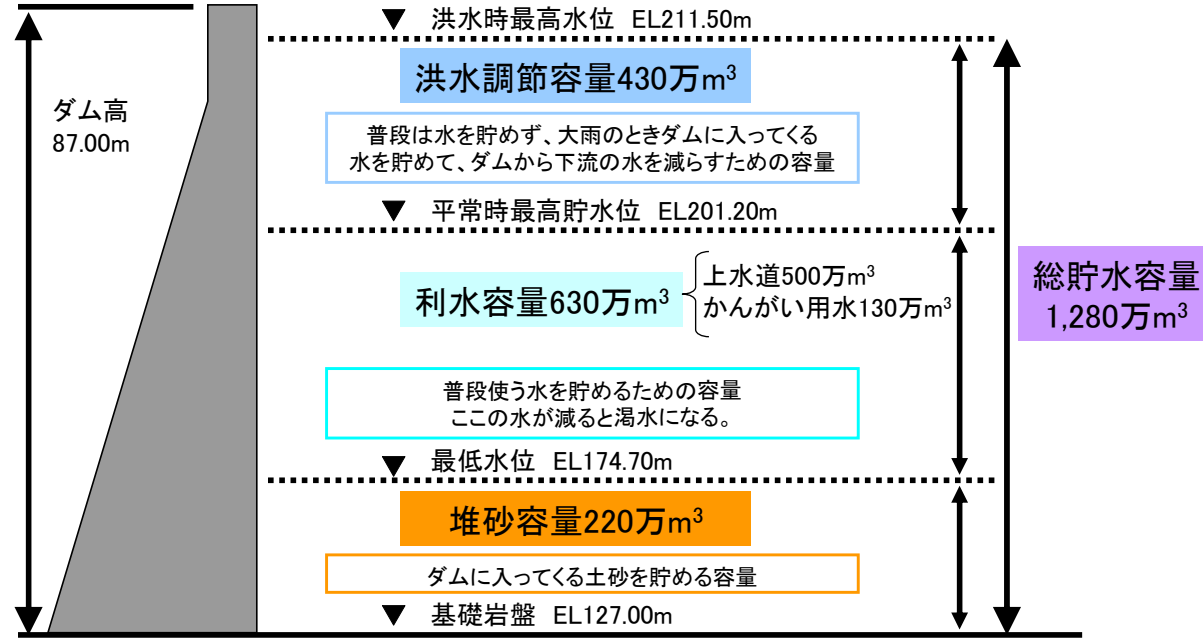
四国地方整備局 松山河川国道事務所

《 議 事 》

1. 石手川ダムにおける
水質問題発生の際緯
2. 想定される水質問題発生メカニズム
3. メカニズム解明へ向けた調査・検討
4. 今後の予定

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(1) 石手川ダムの概要



《諸元》

ダムの高さ：87.0m 流域面積：72.6 km^2
 ダムの長さ：278m 湛水面積：0.5 km^2
 昭和48年3月管理開始

総貯水容量：1,280万 m^3
 有効貯水容量：1,060万 m^3
 堆砂容量：220万 m^3

《目的》

●洪水調節

石手川ダム地点における計画高水流量550 m^3/s のうち250 m^3/s の洪水調節を行う

●かんがい用水

石手川北部地区の550haの農地に対し、日最大25,000 m^3 、年間1,748,000 m^3 のかんがい用水を供給する

●上水道

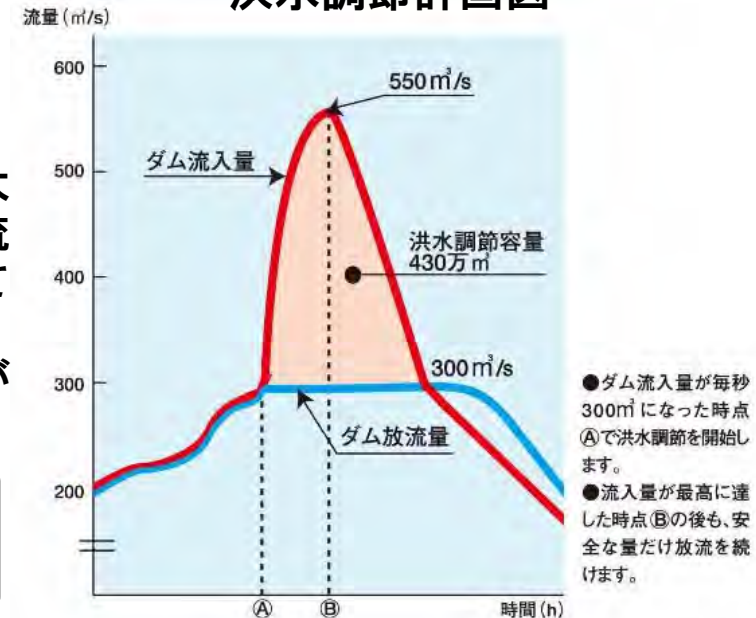
松山市水道水源として、最大97,000 m^3 /日の水道用水の確保に向け、ダムから供給を行う

《特徴》

四国電力湯山発電所では、ダム上流で発電取水(最大2.5 m^3/s)を行っており、流入水がダムをバイパスしている
 このため、貯水池回転率が小さい

年間回転率：4.7回/年
 7月回転率：1.4回/年
 (H4~24の平均値)

洪水調節計画図



1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

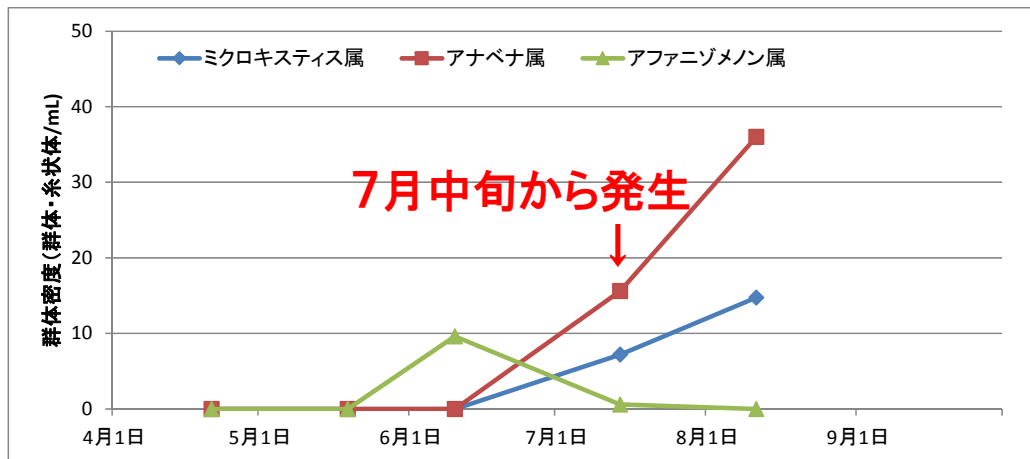
(2) 石手川ダムにおける水質問題の履歴

[水質問題の種類]

① アオコによる**景観障害**

- 原因藻類は3種類
 ミクロキスティス属, アナベナ属,
 アファニゾメノン属
- アオコは昭和50年代からほぼ毎年発生
 (原因藻類を未確認: H6~9年)
 (原因藻類を微量確認: H12,14,20年)
- アオコ発生時期は主に7~10月

[平成27年度のアオコ発生状況]



年 \ 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
S57								■				
S58												
S59												
S60					■			■			■	
S61												
S62						■	■	■	■	■		
S63					■		■	■	■	■		
H1					■		■	■	■	■		
H2							■	■	■	■		
H3					■		■	■	■	■		
H4							■	■	■	■		
H5							■					
H6												
H7												
H8												
H9												
H10								■				
H11								■	■	■		
H12								■	■	■		
H13								■	■	■		
H14								■	■	■		
H15									■	■		
H16						■	■	■	■	■	■	
H17							■	■	■	■		
H18								■	■	■		
H19									■	■		
H20									■	■		
H21								■	■	■	■	
H22								■	■	■	■	
H23							■	■	■	■	■	
H24								■	■	■	■	
H25								■	■	■	■	
H26							■	■	■	■		
H27								■	■	■	■	

- : 植物プランクトン調査未実施の期間
- : 水質調査結果に基づき、藍藻類が約500細胞/mL以上【アオコ発生に近い状況】
- : 水質調査結果に基づき、藍藻類が1000細胞/mL以上【アオコ発生】
- : 水質調査結果に基づき、藍藻類が10000細胞/mL以上【アオコ大発生】

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(2) 石手川ダムにおける水質問題の履歴

[平成27年度のアオコ発生状況]

6月22日



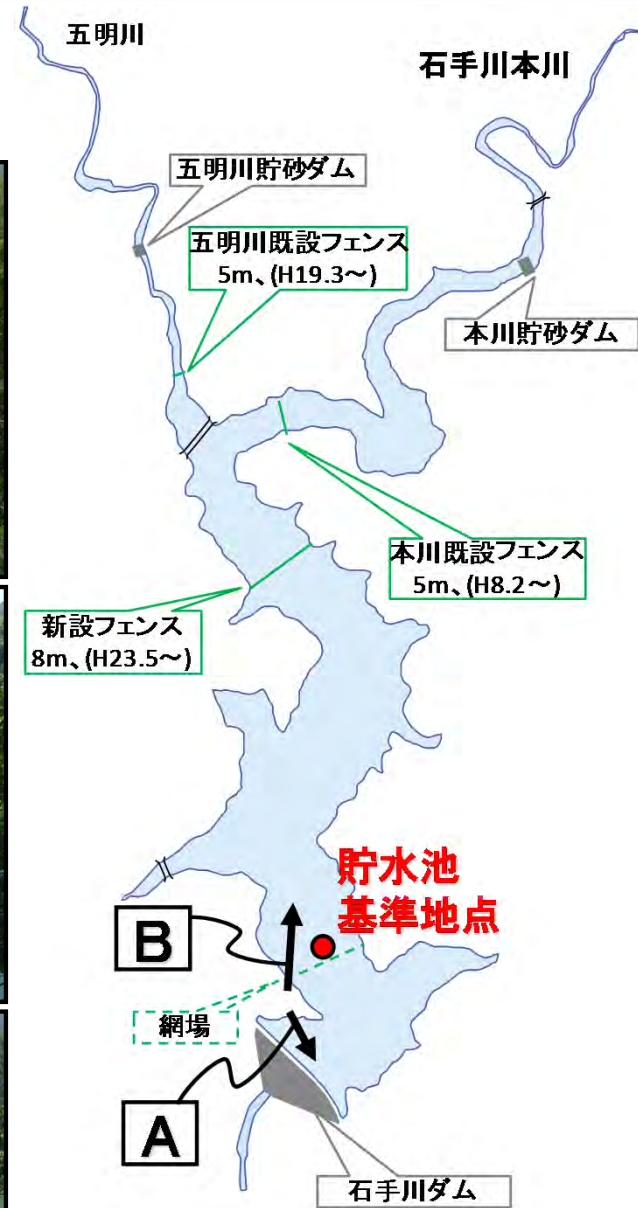
7月15日



8月11日



ダム堤体端部の集積状況



1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(2) 石手川ダムにおける水質問題の履歴

[平成27年度のアオコ発生状況]

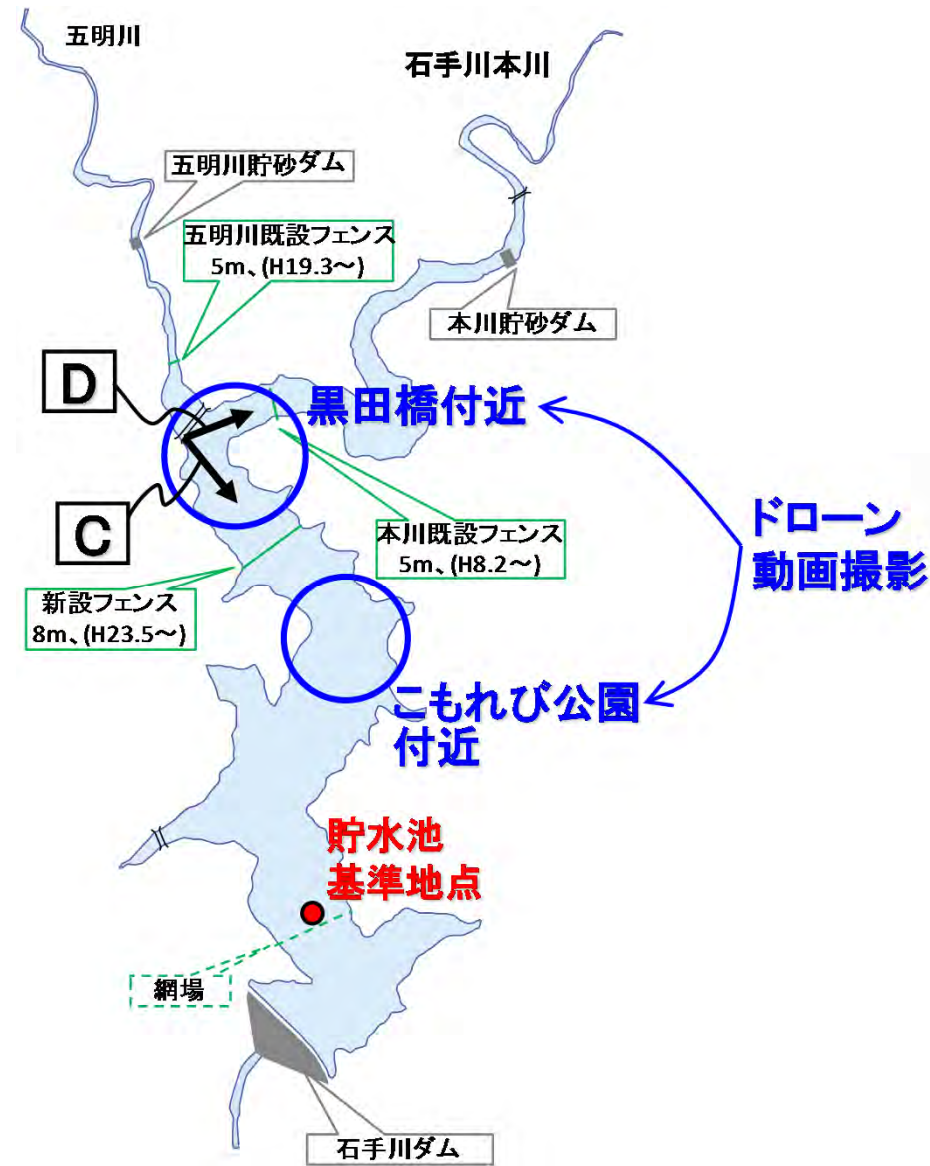
6月22日



7月15日



8月11日



1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(2) 石手川ダムにおける水質問題の履歴

[ドローンにより撮影した湖面状況(動画)]



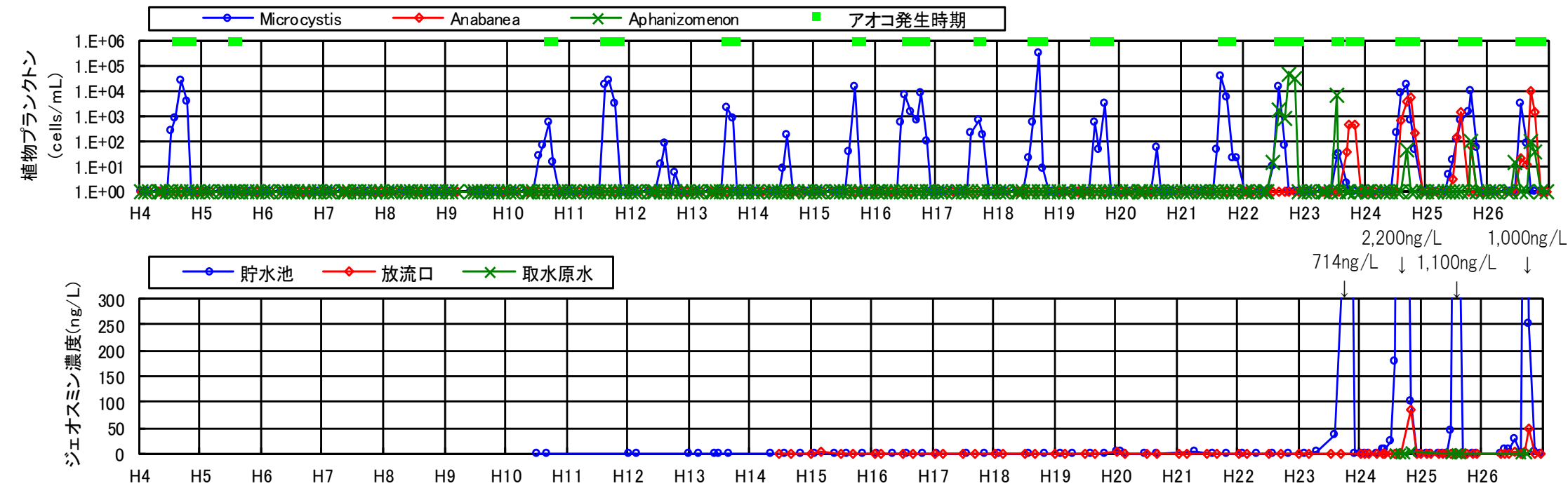
1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(2) 石手川ダムにおける水質問題の履歴

[水質問題の種類]

②アオコが生成するカビ臭による**利水障害**

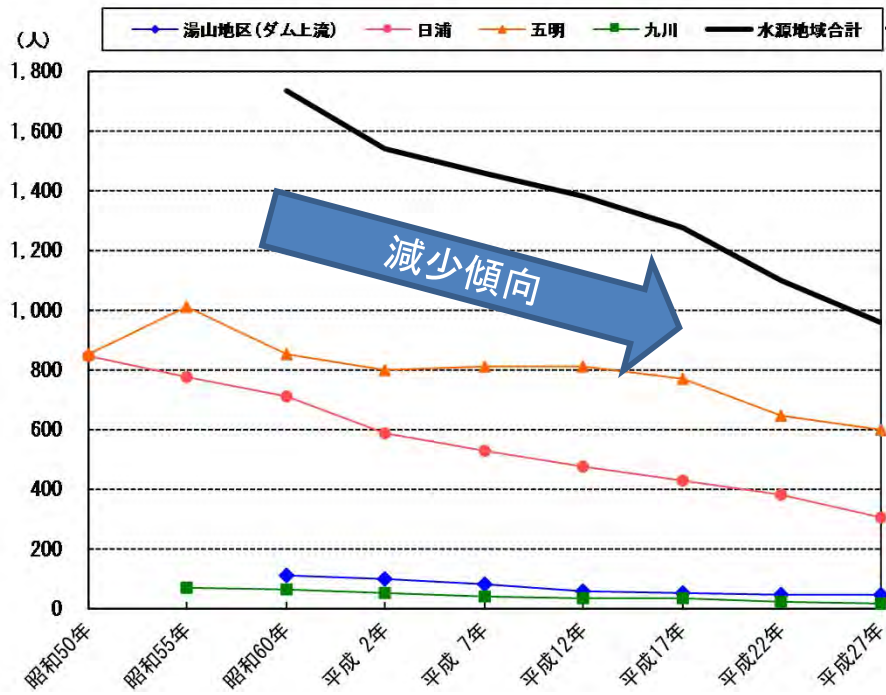
- 原因物質；ジェオスミン（水道水質基準：10ng/L）
- 原因藻類；アナベナ属, (アファニゾメノン属)
- 平成23年に初めてカビ臭が確認されて以降、毎年夏～秋季に貯水池表層で発生
- 貯水池基準地点表層では、毎年1,000ng/Lを超えるジェオスミンが検出される（貯水池内で高濃度のジェオスミンが検出される事例は極めて少ない）
- 放流口や浄水場(取水原水)においても検出されることがある



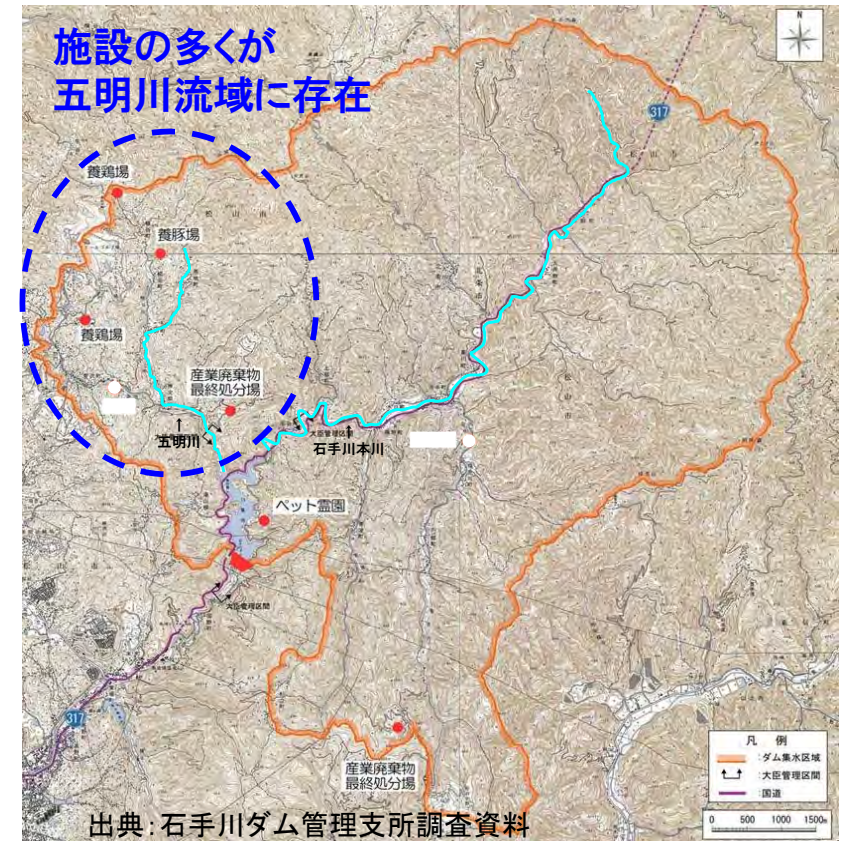
1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(3) 流域の社会環境等の変化

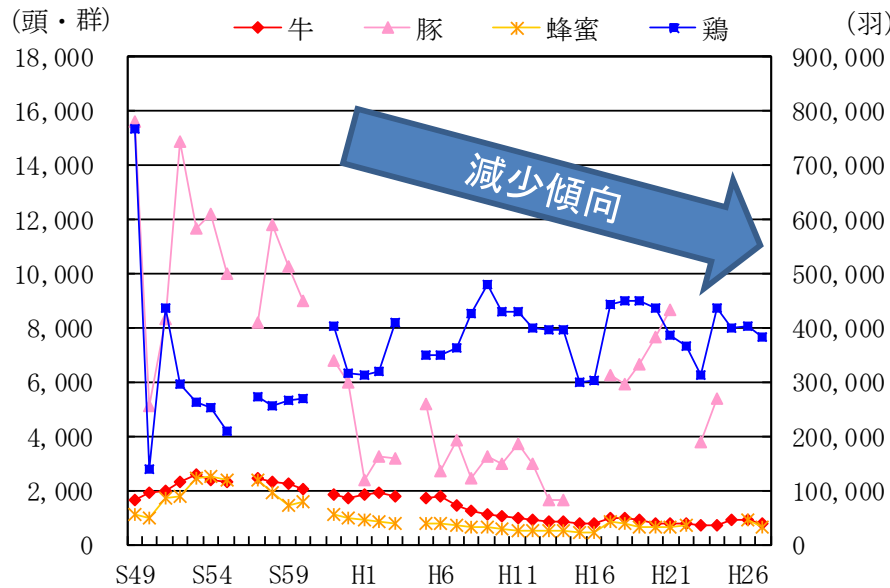
■ 人口



■ 産業廃棄物最終処理場等

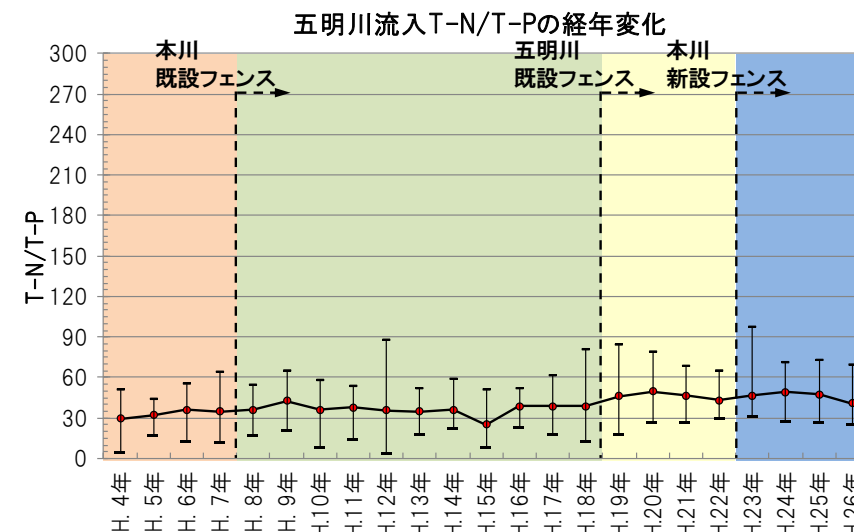
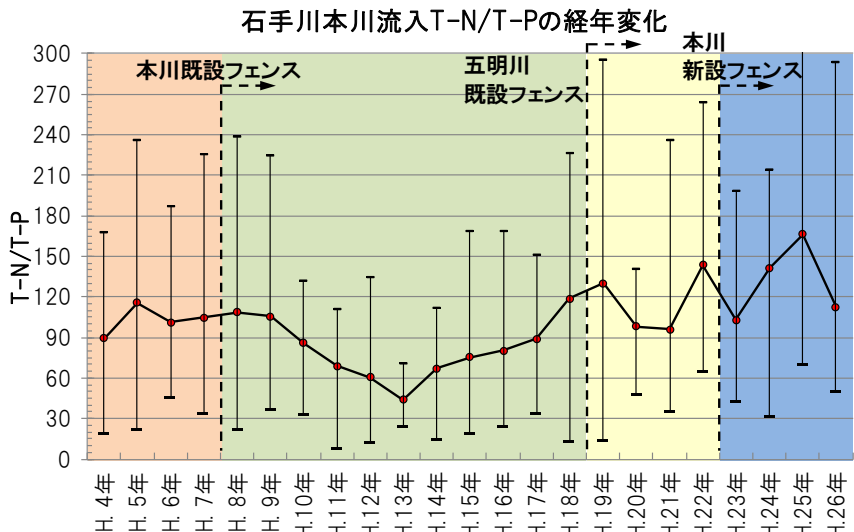
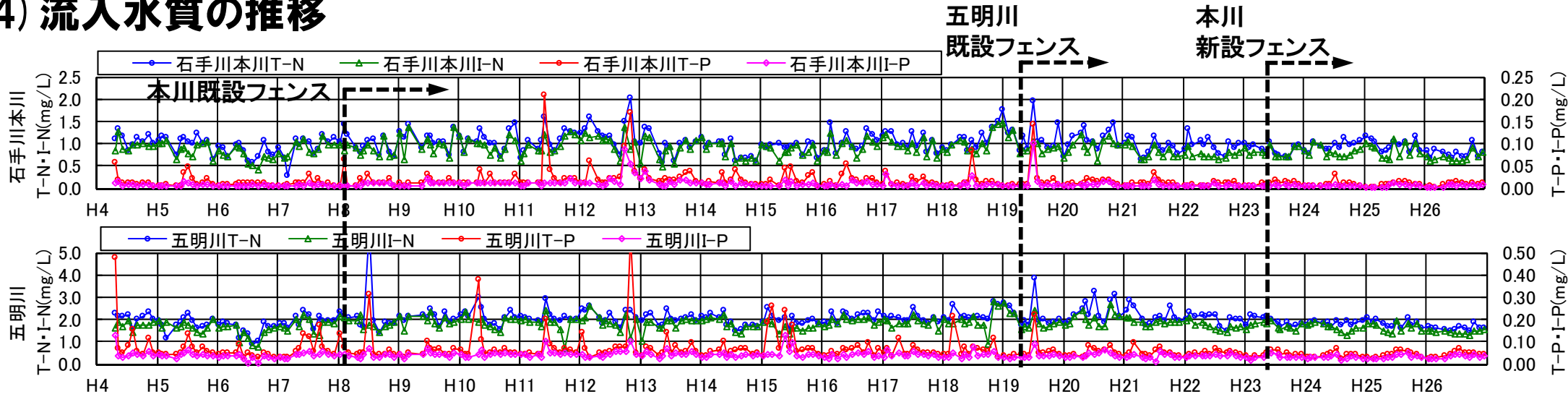


■ 流域内畜産



1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(4) 流入水質の推移



[用語解説]
 T-N: 総窒素(全窒素)
 水中に含まれる窒素の総量
 I-N: 無機態窒素
 水に溶けた状態の窒素総量硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)の和であり、植物の栄養素として利用
 T-P: 総リン(全リン)
 水中に含まれるリンの総量
 I-P: 無機態リン
 水に溶けた状態のリン総量 その大部分はオルトリン酸態リン(PO₄-P)であり、植物の栄養素として利用

[石手川本川] 経年的な栄養塩濃度の変化は認められないが、T-N/T-P比はやや増加傾向にあり、相対的にリン制限の傾向が強まっている。

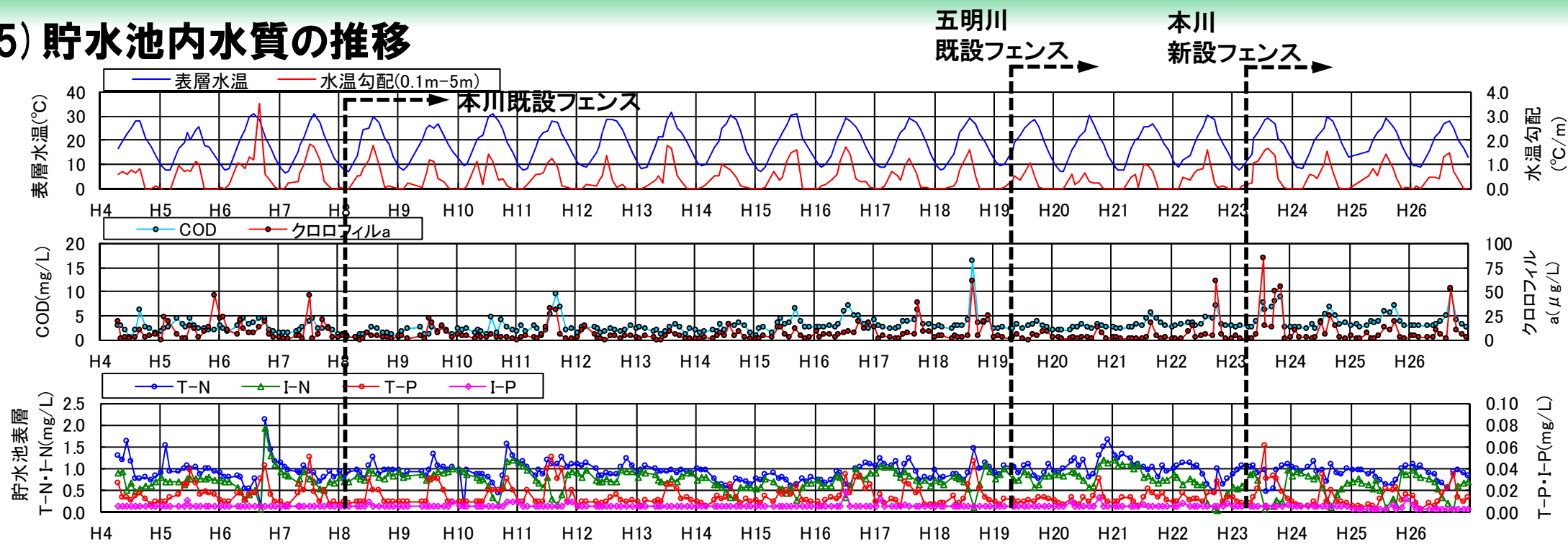
[五明川] 経年的な栄養塩濃度の変化は認められず、T-N/T-P比にも大きな変化はない。

⇒ 流域からの栄養塩供給の変化がアオコ種組成の変化に影響を及ぼしたとは考えにくい

※T-N/T-P比が小さくなり窒素制限の状態になると、アオコ原因藻類の優占種がマイクロキスティス属からアナベナ属に変化することがある。これは、アナベナ属が異質細胞(通常の藻類は利用できない水中に溶解した窒素ガスを窒素源として利用できる特殊な細胞)を持つことに由来する。

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(5) 貯水池内水質の推移

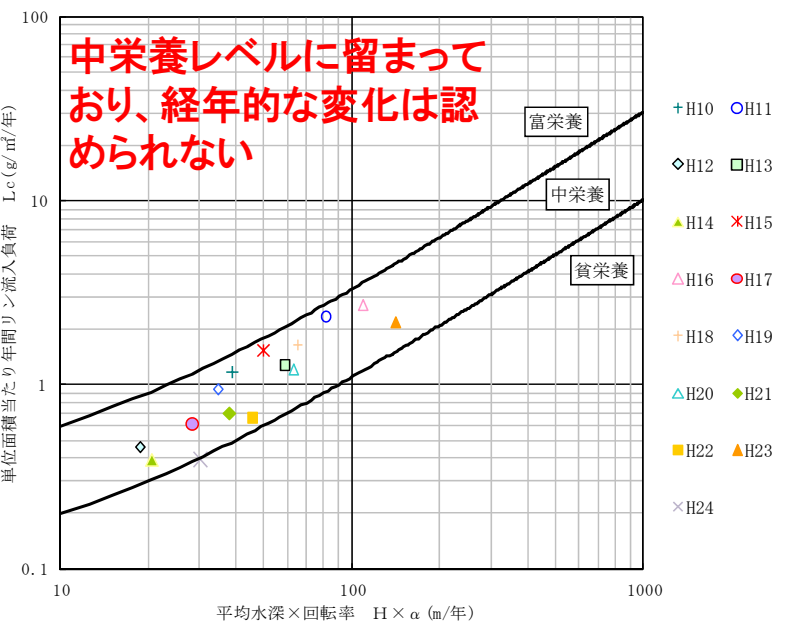


[水温] 経年的な変化は認められず、夏季は30℃程度まで上昇

[COD,Chl-a] 顕著なアオコ発生時には一時的に高くなるが、経年的な変化は認められない

[窒素,リン] 全般的に経年的な変化は認められない。

- 溶解性リン(I-P)は、概ね1年を通じて定量下限値
- 溶解性窒素(I-N)は、新設フェンス設置以降夏季に枯渇状態になりやすい傾向あり

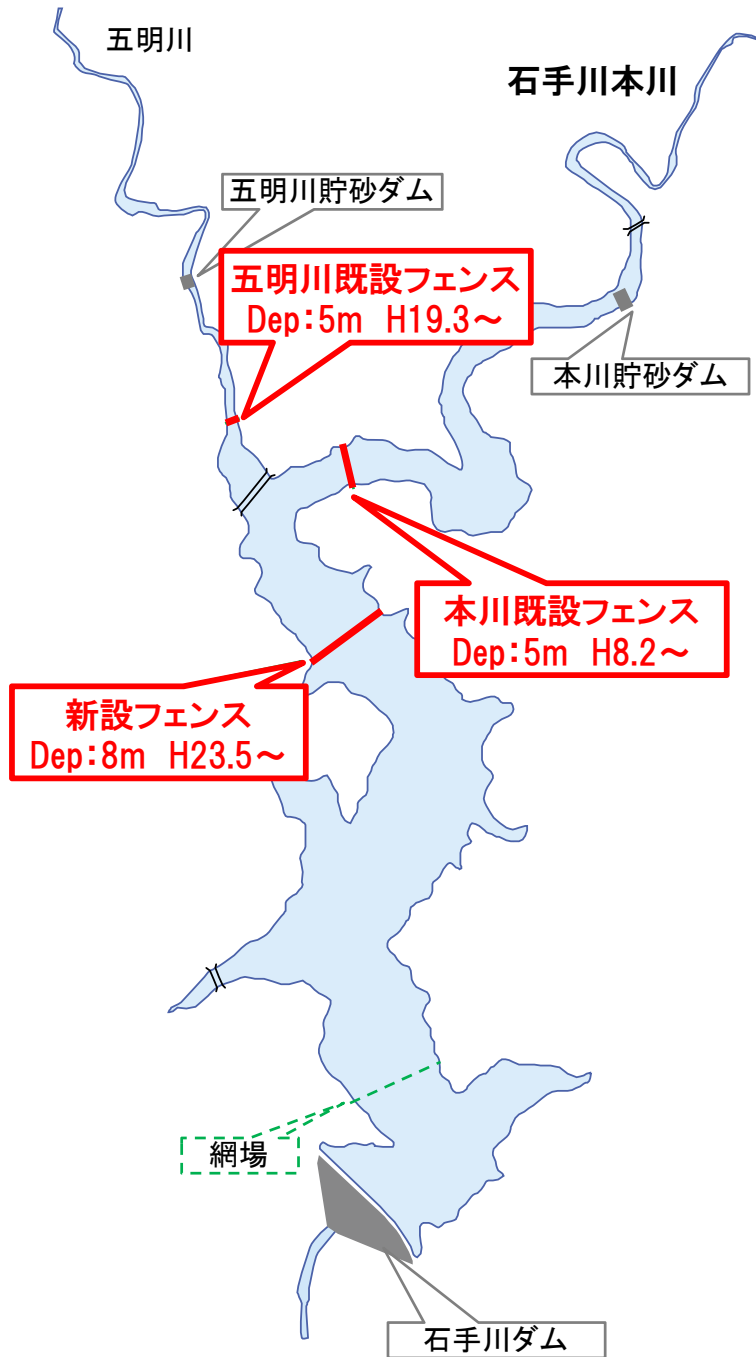


Vollenweiderモデルによる富栄養化状況の予測結果

[用語解説]
 COD(化学的酸素要求量): 水域の有機的な汚濁を示す代表的な指標
 クロロフィルa(Chl-a): 藻類に含まれる光合成に必要な緑色色素の量であり、貯水池内での藻類の存在量を表す指標

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(6) 石手川ダムにおける水質保全対策とその効果



[本川既設フェンス]

- ・ 景観対策(アオコ状態の緩和)としてH8.2に設置
- ・ フェンス深5m

[五明川既設フェンス]

- ・ 景観対策(アオコ緩和)の強化を目的にH19.3に設置
- ・ フェンス深は5m

《課題》

- ・ 水位低下時にフェンス下端が湖底に着床してしまう
- ・ 出水時の土砂流入でフェンスが埋まってしまう

⇒通年での運用が困難



[本川新設フェンス]

- ・ 上記課題を考慮した施設としてH23.5に設置
- ・ フェンス深8m
- ・ 貯水池中流部に設置することで通年での運用が可能に

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の経緯

(6) 石手川ダムにおける水質保全対策とその効果

[貯水池透明度]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	最大値	平均値	最小値
S.56年	2.5	2.7	1.9	2.6	1.5	2.3	0.9	2.0	2.3	0.6	1.6	1.9	2.7	1.9	0.6
S.57年	2.0	2.4	1.8	2.1	2.4	1.9	1.2	1.9	2.2	1.0	1.4	1.6	2.4	1.8	1.0
S.58年	1.6	1.8	2.6	1.2	1.5	1.6	1.8	2.8	2.0	1.4	2.4	2.2	2.8	1.9	1.2
S.59年	2.9	2.5	2.9	3.2	1.7	2.1	2.7	3.5	1.6	1.9	2.2	1.9	3.5	2.4	1.6
S.60年	2.0	1.3	1.9	2.1	2.9	4.2	1.2	3.7	2.5	1.8	3.1	2.4	4.2	2.4	1.2
S.61年	2.4	2.3	2.7	1.9	1.0	2.3	2.0	1.0	1.8	2.3	3.1	3.3	3.3	2.2	1.0
S.62年	3.3	2.8	3.8	3.2	2.7	1.8	1.7	1.6	2.5	3.4	0.4	0.8	3.8	2.3	0.4
S.63年	1.9	1.7	4.3	2.0	2.0	1.7	1.3	1.8	2.6	2.6	3.0	3.0	4.3	2.3	1.3
H.1年	3.2	2.5	1.7	2.6	2.8	1.7	1.1	1.8	2.3	2.8	3.7	3.6	3.7	2.5	1.1
H.2年	2.8	3.4	1.4	1.2	1.5	1.4	1.0	1.3	2.7	1.0	1.9	2.1	3.4	1.8	1.0
H.3年	2.7	2.4	3.9	2.1	4.1	3.6	1.9	1.9	3.1	2.8	2.7	1.9	4.1	2.8	1.9
H.4年	2.4	2.5	0.6	1.7	3.6	5.8	4.8	2.1	2.7	2.9	5.0	3.3	5.8	3.1	0.6
H.5年	4.0	2.6	1.6	2.4	2.7	3.9	0.7	1.1	2.7	1.9	1.7	2.6	4.0	2.3	0.7
H.6年	3.0	2.7	3.0	2.2	1.7	2.4	1.3	1.5	0.9	0.6	1.3	2.5	3.0	1.9	0.6
H.7年	2.5	3.6	4.7	1.2	1.8	2.3	1.3	4.1	2.7	1.6	1.9	1.7	4.7	2.5	1.2
H.8年	2.2	2.2	3.1	3.0	5.5	5.0	1.4	2.8	2.3	2.6	3.2	2.3	5.5	3.0	1.4
H.9年	2.3	3.4	3.2	-	5.8	4.7	2.0	1.5	4.3	2.6	2.5	3.5	5.8	3.3	1.5
H.10年	3.6	4.1	5.7	5.9	2.9	7.1	4.8	2.7	2.0	1.9	1.0	1.9	7.1	3.6	1.0
H.11年	1.8	3.7	3.5	3.6	5.1	3.6	1.5	1.7	0.6	0.8	3.3	1.5	5.1	2.6	0.6
H.12年	2.9	2.3	2.8	4.6	5.8	6.0	4.2	3.0	2.4	3.0	3.9	3.6	6.0	3.7	2.3
H.13年	3.1	2.7	3.4	6.9	7.2	5.7	2.4	1.7	1.8	2.7	3.0	2.8	7.2	3.6	1.7
H.14年	2.1	2.8	4.8	4.2	3.5	3.5	4.0	1.8	2.3	2.6	2.2	1.7	4.8	3.0	1.7
H.15年	3.5	3.3	1.9	8.1	3.4	3.2	4.3	2.8	1.9	5.6	4.8	4.1	8.1	3.9	1.9
H.16年	4.0	4.2	3.0	3.9	4.8	6.7	1.9	2.0	2.0	4.3	1.3	1.0	6.7	3.3	1.0
H.17年	2.2	2.6	2.9	3.5	4.1	6.5	1.0	4.4	2.5	1.7	4.7	4.2	6.5	3.4	1.0
H.18年	4.3	3.8	4.4	5.9	4.8	4.6	4.7	2.1	0.5	3.8	2.5	2.5	5.9	3.7	0.5
H.19年	4.5	4.3	4.5	7.0	6.0	4.8	2.0	3.8	3.8	3.7	4.9	3.9	7.0	4.4	2.0
H.20年	5.2	6.5	5.5	6.8	7.7	7.7	5.5	5.1	5.0	1.2	3.0	4.0	7.7	5.3	1.2
H.21年	5.3	4.9	6.5	9.3	5.5	8.4	3.3	2.0	2.0	3.1	4.2	4.1	9.3	4.9	2.0
H.22年	4.4	3.4	3.2	3.5	3.4	4.5	4.9	2.8	3.1	1.4	3.7	4.7	4.9	3.6	1.4
H.23年	5.4	5.2	5.4	4.2	7.7	5.0	1.8	2.7	2.2	1.3	1.3	4.9	7.7	3.9	1.3
H.24年	5.7	4.4	7.5	7.8	8.4	10.5	4.5	2.2	1.6	2.5	5.0	6.3	10.5	5.5	1.6
H.25年	4.9	6.4	5.3	7.4	6.3	6.3	4.3	2.6	2.6	2.2	3.5	4.2	7.4	4.7	2.2
H.26年	4.8	6.3	6.1	7.0	6.9	5.2	4.5	2.4	1.2	3.2	4.5	4.3	7.0	4.7	1.2
最大値	5.7	6.5	7.5	9.3	8.4	10.5	5.5	5.1	5.0	5.6	5.0	6.3	10.5	5.5	2.3
~H7平均	2.6	2.5	2.6	2.1	2.3	2.6	1.7	2.1	2.3	1.9	2.4	2.3	3.7	2.3	1.0
H8~H18平均	3.1	3.4	3.6	5.0	4.8	5.1	2.9	2.4	2.1	2.9	2.9	2.6	6.2	3.4	1.3
H18~平均	5.2	4.9	5.6	6.4	6.5	6.8	3.7	3.1	3.0	2.2	3.7	4.7	7.9	4.6	1.6



・フェンスが段階的に設置されるのに伴って、透明度は改善が見られる

[貯水池表層クロロフィル a]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	最大値	平均値	最小値
S.56年	-	-	-	-	3.1	-	-	-	-	-	0.5	-	3.1	1.8	0.5
S.57年	-	3.1	-	-	10.0	-	-	11.8	-	-	4.2	-	11.8	7.3	3.1
S.58年	-	7.6	-	-	16.0	-	-	8.1	-	-	5.6	-	16.0	9.3	5.6
S.59年	-	6.7	-	3.5	39.3	13.0	25.3	9.1	62.5	4.9	1.1	2.5	62.5	16.8	1.1
S.60年	2.3	2.5	7.4	2.9	4.8	7.3	34.2	8.1	29.4	21.1	11.8	2.7	34.2	11.2	2.3
S.61年	4.4	6.3	6.2	11.8	79.4	10.5	14.3	200.6	17.9	4.5	4.6	2.6	200.6	30.3	2.6
S.62年	4.3	5.2	4.2	2.3	9.1	20.6	16.4	33.6	10.6	4.0	1.1	1.1	33.6	9.4	1.1
S.63年	2.0	8.6	6.1	7.1	8.5	21.4	23.1	11.8	10.8	3.5	4.4	2.1	23.1	9.1	2.0
H.1年	2.9	2.1	14.3	7.1	8.5	21.6	50.4	9.8	16.4	8.5	6.6	3.2	50.4	12.6	2.1
H.2年	4.1	12.1	9.8	20.2	7.6	31.6	24.2	6.2	4.8	0.8	2.0	1.1	31.6	10.4	0.8
H.3年	1.0	5.5	4.1	3.2	2.8	1.9	22.5	10.8	5.6	5.3	2.4	4.7	22.5	5.8	1.0
H.4年	3.0	6.3	20.1	19.9	1.2	2.5	1.7	2.8	10.8	3.0	4.5	5.9	20.1	6.8	1.2
H.5年	0.4	23.8	19.0	5.7	1.9	0.9	14.9	11.8	3.1	8.9	14.0	46.5	46.5	12.6	0.4
H.6年	21.8	23.2	10.2	6.3	20.9	12.3	6.6	7.9	13.1	19.2	6.1	2.2	23.2	12.5	2.2
H.7年	5.0	8.0	2.1	4.7	4.6	1.6	46.2	1.9	5.1	21.3	12.4	2.6	46.2	9.6	1.6
H.8年	2.2	4.1	2.1	2.3	0.1	0.9	7.5	4.1	4.2	2.4	3.0	1.7	7.5	2.9	0.1
H.9年	3.8	4.4	1.4	-	3.8	1.0	22.2	17.8	8.0	14.6	8.3	3.0	22.2	8.0	1.0
H.10年	5.9	4.8	4.5	1.3	4.2	2.5	2.6	5.6	3.3	3.2	2.2	0.8	5.9	3.4	0.8
H.11年	0.5	3.3	4.9	3.1	1.0	5.5	12.9	33.4	30.6	5.4	1.0	1.0	33.4	8.6	0.5
H.12年	2.9	10.6	14.4	6.0	1.2	1.8	0.1	3.6	4.7	1.9	4.7	4.4	14.4	4.7	0.1
H.13年	2.3	1.3	4.2	2.3	0.0	0.0	4.3	9.3	6.5	4.8	1.1	1.3	9.3	3.1	0.0
H.14年	1.4	0.8	2.1	1.6	4.1	7.2	3.7	15.6	4.0	8.1	2.2	1.2	15.6	4.3	0.8
H.15年	1.1	0.9	4.9	2.2	13.3	13.1	6.0	3.2	11.1	3.9	1.4	3.4	13.3	5.4	0.9
H.16年	9.0	2.9	5.1	5.8	2.7	6.4	6.6	9.2	6.6	19.9	11.1	17.5	19.9	8.6	2.7
H.17年	12.6	1.8	3.8	2.7	0.9	1.4	5.4	7.4	5.7	39.0	8.8	8.4	39.0	8.2	0.9
H.18年	3.0	3.7	5.0	1.4	5.0	3.5	3.4	4.0	61.6	3.8	19.2	24.9	61.6	11.5	1.4
H.19年	2.5	4.9	3.2	1.1	2.9	6.3	0.9	0.3	5.4	3.6	8.2	8.4	8.4	4.0	0.3
H.20年	2.4	2.3	1.5	0.9	2.3	1.9	3.5	2.6	1.6	12.8	8.0	1.6	12.8	3.5	0.9
H.21年	2.9	3.4	1.3	1.6	0.9	1.3	1.0	3.9	17.2	3.7	1.1	3.1	17.2	3.5	0.9
H.22年	1.9	1.5	1.6	8.9	15.1	2.2	9.8	5.5	4.8	61.4	5.4	1.8	61.4	10.0	1.5
H.23年	2.0	3.9	0.7	2.0	1.8	5.2	85.6	14.5	13.6	51.0	55.5	0.6	85.6	19.7	0.6
H.24年	2.5	9.9	2.8	2.1	2.0	3.0	18.1	6.0	24.6	14.7	2.8	2.0	24.6	7.5	2.0
H.25年	3.8	2.0	2.0	7.8	2.0	2.0	4.8	12.8	10.2	19.1	3.3	2.0	19.1	6.0	2.0
H.26年	3.8	3.8	2.3	2.4	2.6	10.6	5.9	2.0	54.0	10.2	5.1	2.3	54.0	8.8	2.0
最大値	21.8	23.8	20.1	20.2	79.4	31.6	85.6	200.6	62.5	61.4	55.5	46.5	200.6	30.3	5.6
~H7平均	4.5	8.3	9.4	7.9	14.5	12.1	23.3	23.9	15.8	8.8	5.4	6.4	41.7	11.0	1.8
H8~H18平均	4.1	3.6	4.6	2.9	3.3	3.9	6.8	10.3	13.3	9.7	5.7	6.1	22.0	6.2	0.8
H18~平均	2.3	4.2	1.6	2.8	4.2	3.3	19.8	5.5	11.2	24.5	13.5	2.9	35.0	8.0	1.0



・本川フェンス設置以降、クロロフィル a は一旦低下したが、近年(新設フェンス設置後)は再び上昇傾向にある

本川フェンス
設置

五明川
フェンス設置

新設フェンス
設置

1. 石手川ダムにおける水質問題発生の際緯

(7) 水質保全対策検討の目的

①アオコによる景観障害の改善

- ・ 貯水池内では毎年、藍藻類の異常増殖によるアオコ現象が発生
- ・ 毎年、夏季には湖面一面が緑色を呈する
- ・ 一部ではアオコが集積し、腐敗臭が発生する場合もある

⇒ 以上のような景観障害を改善するような対策を講ずる

②カビ臭による利水障害の軽減

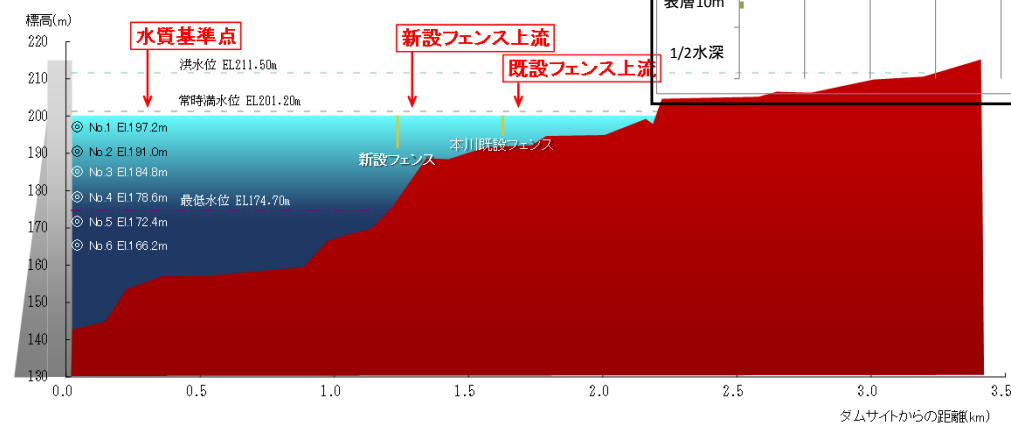
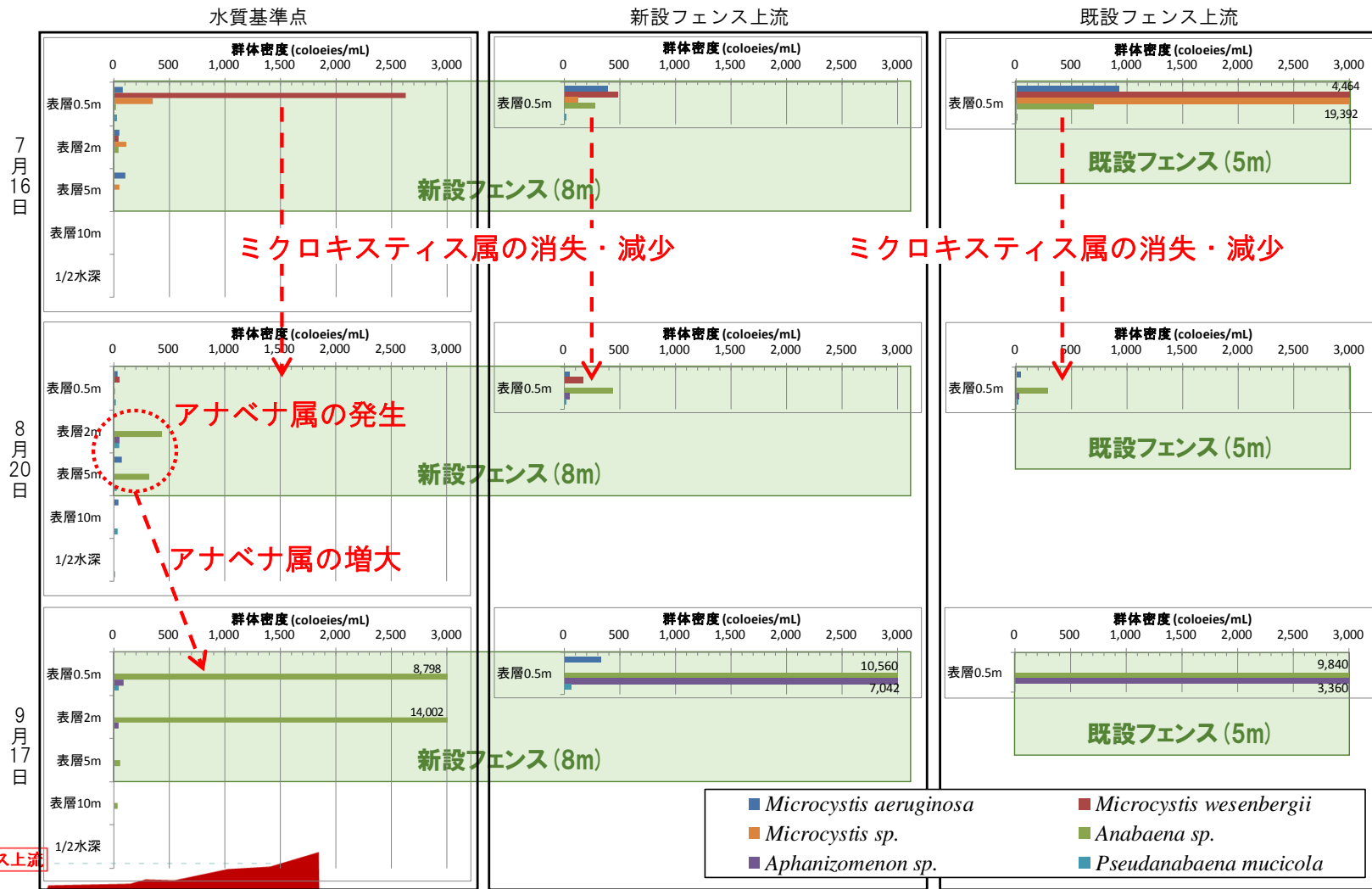
- ・ 平成23年から貯水池表層では、1,000ng/Lを上回る高濃度のジェオスミンを検出（原因は貯水池で発生する藍藻類）
- ・ これにより松山市公営企業局では、取水堰でのカビ臭自動監視と活性炭投入施設による対応を行っている

⇒ 以上のような利水障害の現状やリスクを軽減するような対策を講ずる

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ~ 植物プランクトンの消長

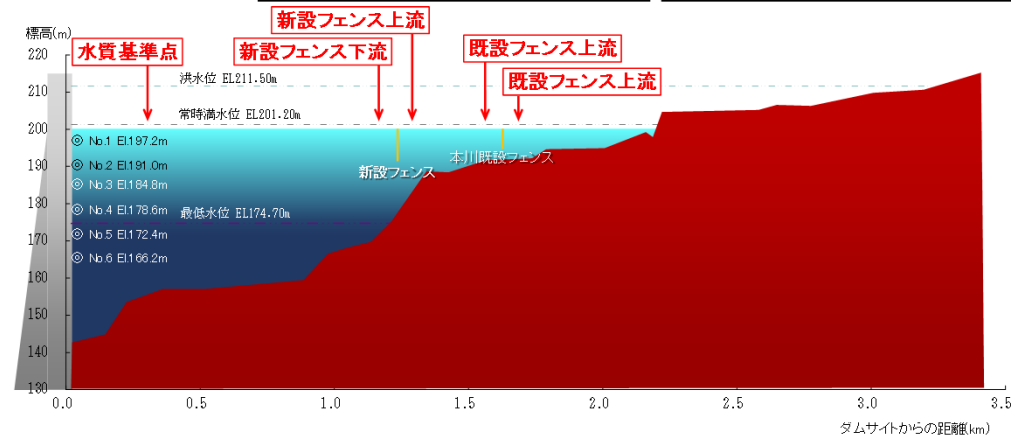
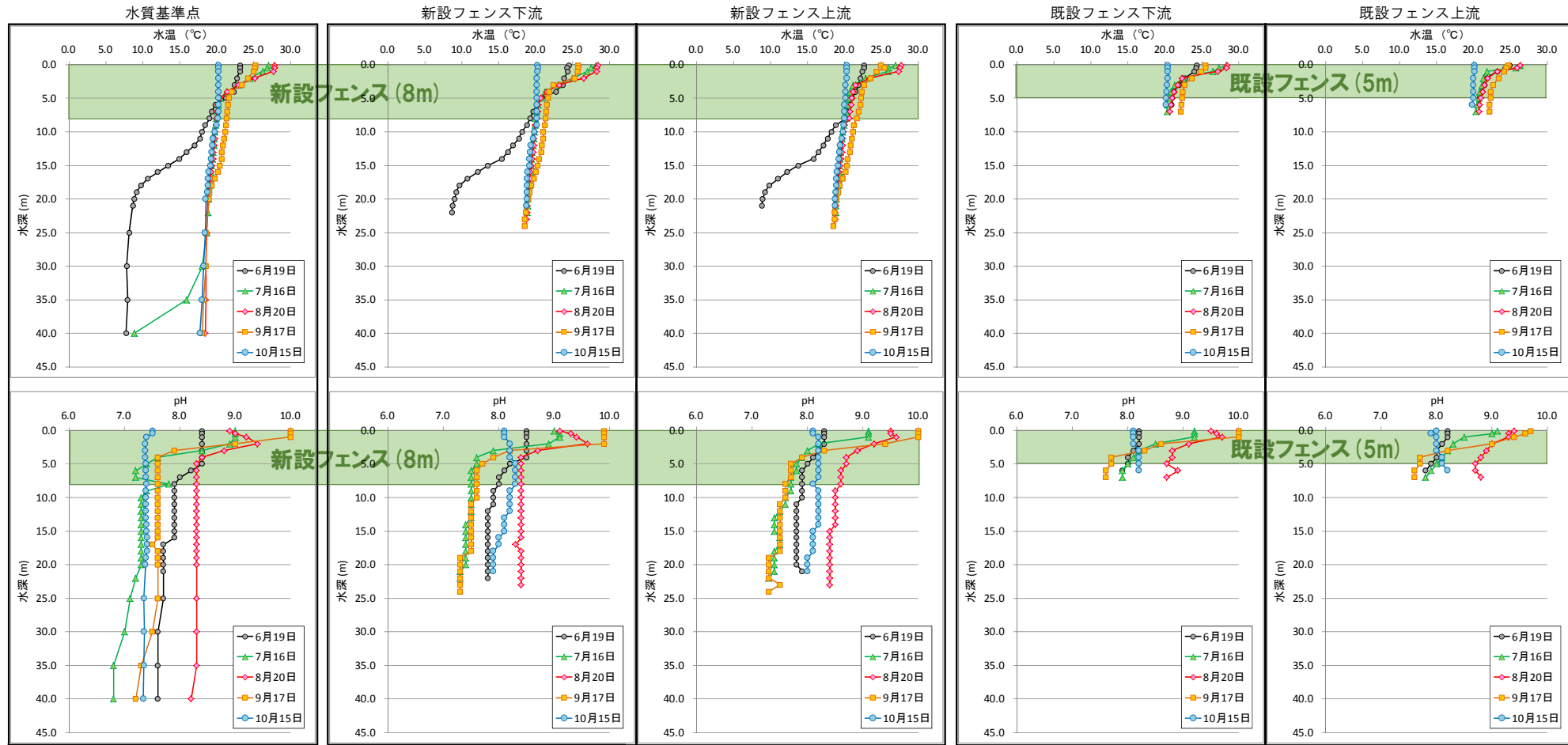
- 7月に表層0.5mでミクロキスティス属が顕著に増殖
- 8月になると表層0.5mのミクロキスティス属が消失し、その下にアナベナ属が出現
- 9月になるとアナベナ属が表層でも急激に増殖



- *Microcystis aeruginosa*
- *Microcystis sp.*
- *Aphanizomenon sp.*
- *Microcystis wesenbergii*
- *Anabaena sp.*
- *Pseudanabaena mucicola*

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ~ 水温及びpHの推移

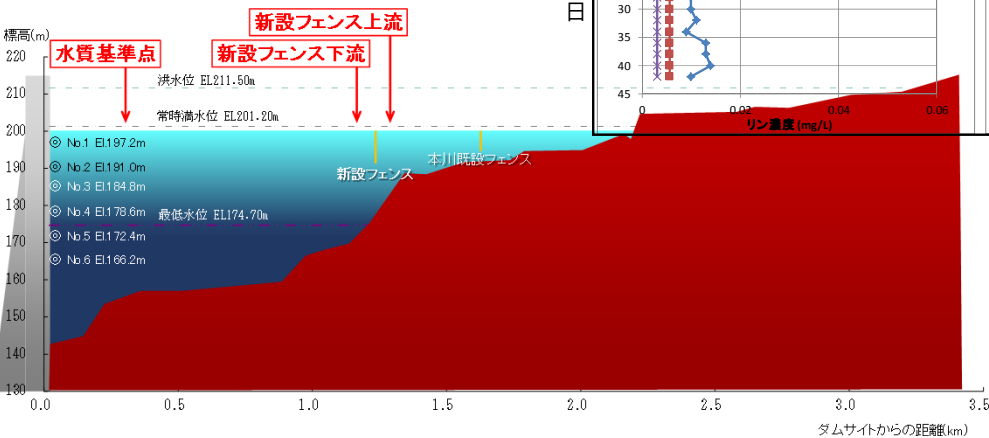
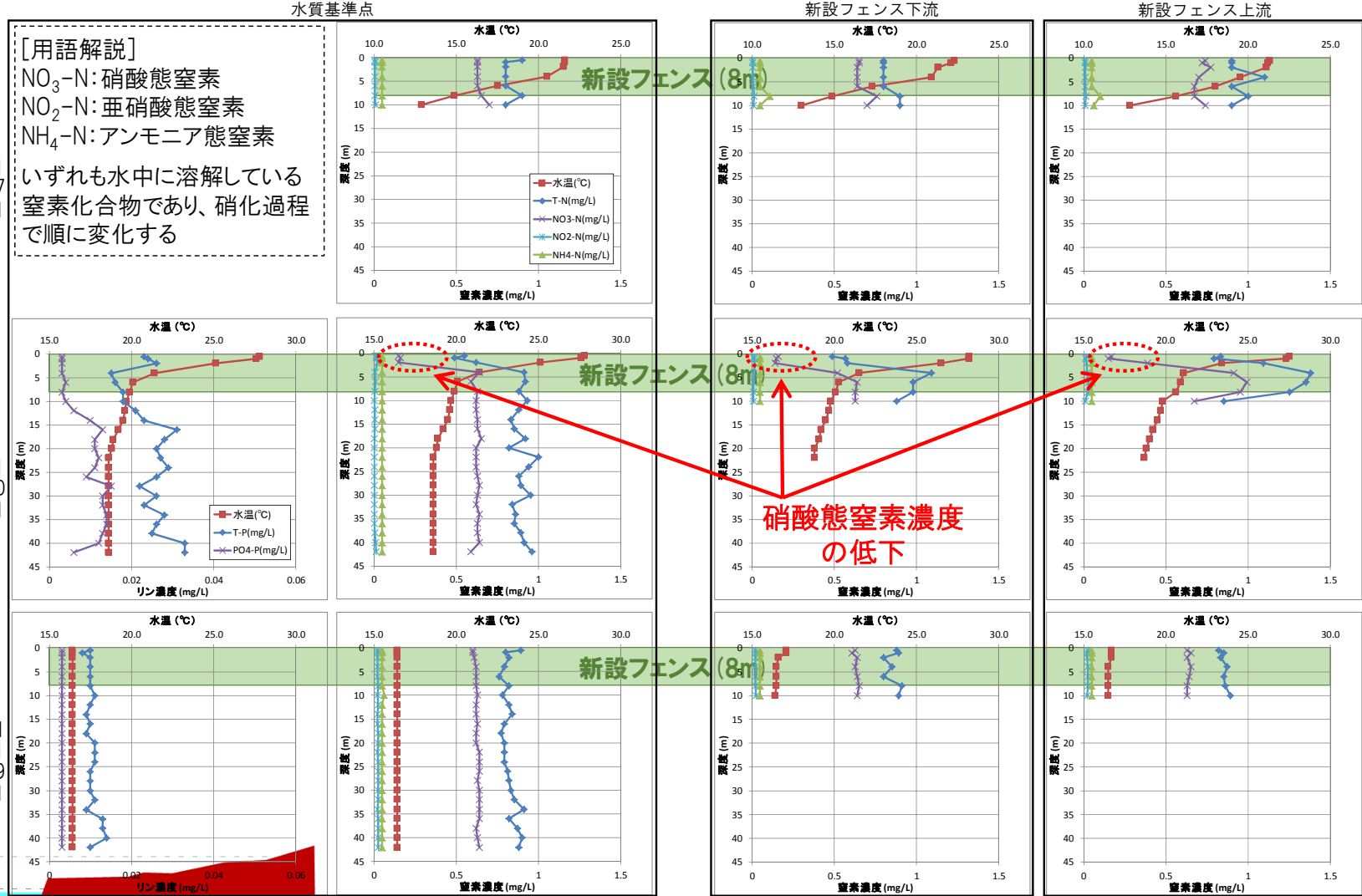


- 7月から表層2m付近に強固な水温躍層が形成され、躍層上下層の水交換が滞るが、9月以降は弱化
- 8月は表層0.5mよりもそれ以深(水温躍層下端)のpHが高くなるが、7月と9月は表層0.5mから水温躍層下端までほぼ同程度のpHとなる

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ~ 栄養塩類 (窒素・リン) の推移

- 5月時点では鉛直方向にほぼ一様に存在する溶解性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)は、8月に表層から2m(水温躍層)の範囲でのみ枯渇
- リンは、窒素のように水温躍層付近での急激な変化は認められない



⇒ 8月に表層2m以深で出現したアナベナ属は窒素制限下で増殖した訳ではない(窒素固定能を発揮して増殖したとは考えにくい)




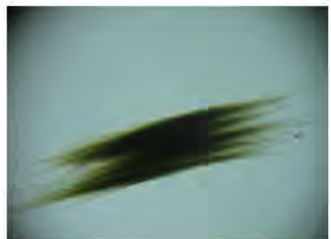
2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ~ アナベナ属の詳細同定

[藍藻綱詳細同定の目的]

- 植物プランクトン定量では、アナベナ属は*Anabaena sp.*単種として取り扱われている
- アナベナ属の中には形態的特徴(増殖の好適環境の違いに関係)の異なる複数種が存在
⇒アナベナ属の詳細同定により、形態的特徴の違いから貯水池内の増殖環境の違いやアナベナ属の発生機構の解明や有効な対策を考える上で有益な情報が得られる可能性

表 アオコ原因藻類の生態学的特徴

水質障害		アオコ	アオコ・カビ臭		
藻類原因	属名	ミクロキスティス属	アナベナ属		アフアニゾメノン属
	出現種	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis wesenbergii</i> <i>Microcystis ichthyoblabe</i>	螺旋型 <i>Anabaena mucosa</i> <i>Anabaena spiroides</i>	直鎖型 <i>Anabaena smithii</i> <i>Anabaena viguieri</i>	<i>Aphanizomenon klebahnii</i>
	写真				
藻類生態的特徴	鉛直分布	ガス胞による浮力により表層に集積し、表水面を膜状に覆う。	ガス胞による浮力により表層に集積するが、膜状になるのは稀。		ガス胞による浮力により表層に集積するが、スカム状にはならない。
	最適水温	25℃	23℃		23℃(但し、8℃以上で増殖できる)
	pH	8以上			
	光要求性	高い	やや低い	低い	やや高い
	栄養塩	DIN濃度0.1mg/L以上、TN:TP比22~29で優占	異質細胞により窒素制限を受けない TN:TP比22以下で優占		異質細胞により窒素制限を受けない 比較的リン制限に強い TN:TP比22以下で優占
	備考	<i>Microcystis aeruginosa</i> は藍藻毒素microcystinを生成することが多い。	かび臭物質geosminを生成する。		

※藍藻類写真は、H26調査において詳細同定した際に撮影したもの

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ～ アナベナ属の詳細同定

[藍藻綱詳細同定結果]

- アナベナ属の中に螺旋型の種と直鎖型の種を確認
- 両タイプは、最適水温や栄養塩要求性には大きな違いはないが、光要求性に違いがあり、直鎖型のほうがより深い深度でも増殖可能

- 今回の詳細同定結果でも、水深の浅い既設フェンス上流では螺旋型の種が優占していたのに対し、水深の深いフェンス上流から基準地点では直鎖型の種が高い割合を占めた

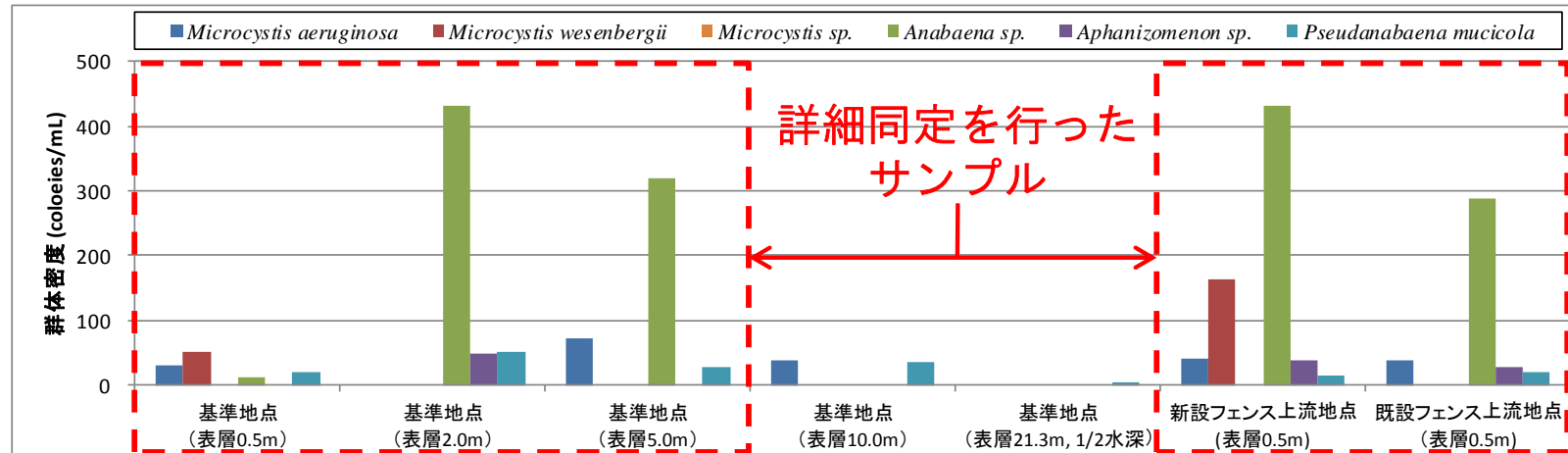


図 8月20日調査における藍藻綱の群体密度

表 詳細同定の結果一覧

	基準地点(0.5m)	基準地点(2.0m)	基準地点(5.0m)	新設フェンス上流	既設フェンス上流
<i>Microcystis aeruginosa</i>					+
<i>Microcystis ichthyoblabe</i>			+		
<i>Microcystis wesenbergii</i>	++				螺旋型が多い
<i>Anabaena mucosa</i>	+		++	++	++
<i>Anabaena spiroides</i>				+	+++
<i>Anabaena smithii</i>	+	++	+	++	
<i>Anabaena viguieri</i>		+		+	+
<i>Aphanizomenon klebahnii</i>				+	+

⇒ 同じアナベナ属であっても螺旋型と直鎖型では貯水池環境に対して異なる増殖応答を示すことを指摘

⇒ 貯水池縦断・鉛直方向での環境の変化に対応した調査地点を配置し、水質分析とアナベナ属の詳細同定を行うことが必要

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(1) 平成26年度の詳細調査により得られた知見 ～ アナベナ属の異質細胞形成

[アナベナ属の異質細胞]

- 窒素固定能を有する特殊な細胞であり、アナベナ属が持っている
- 異質細胞があると、通常の藻類は利用できない水中に溶解した窒素ガスを窒素源として利用することができ、窒素制限下での増殖が可能
- 異質細胞の形成率が5%以上となると、窒素固定能が発揮されると言われている

表 調査地点毎のアナベナ属の異質細胞形成率 (%)

採水地点	螺旋型		直鎖型	
	<i>A. mucosa</i>	<i>A. spiroides</i>	<i>A. smithii</i>	<i>A. viguieri</i>
■ 既設フェンス上流	0.5	1.0	-	0.0
■ 新設フェンス上流	0.4	0.0	2.3	0.0
■ 基準地点(0.5m)	-	-	-	-
■ 基準地点(2.0m)	1.3	-	2.5	0.0
■ 基準地点(5.0m)	0.5	-	-	-

[異質細胞形成率の確認結果]

- アナベナ属の異質細胞形成率は3%未満と低かった
 - (前述)水温躍層より下層では溶解性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)が豊富に存在していた
- ⇒ アナベナ属は窒素制限を受けていなかった可能性が高い

[平成26年度の藍藻類の種の変化に関する考察]

- ✓ 7月から8月にかけてミクロキスティス属が衰退した原因は、表層での溶解性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)枯渇によるものと推察される
- ✓ 8月にアナベナ属が増加した原因は、窒素枯渇に伴う優占種の変化というよりは、新設フェンスによるミクロキスティス属の衰退により光透過が向上し、変水層付近の増殖環境が整ったためと推察される

⇒ フェンスの存在が優占種の変化に間接的に影響を及ぼしたものと推察される

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(2) 想定される平成26年度のアオコ・カビ臭現象の発生メカニズム

月	概念図	説明
6月		<ul style="list-style-type: none"> ・アオコ原因藻類種のうち、最も低水温に適応できるアファニゾメノンが発芽 ・既設フェンス下流から新設フェンス上流にかけて表層で増殖 ・新設フェンスによる流動制御によりダムサイト変水層へ導入 ・ダムサイト変水層では十分な光エネルギーが得られず、基準地点では増殖が困難
7月		<ul style="list-style-type: none"> ・水温上昇に伴い、より高水温に適応したマイクロキスティス属とアナベナ属が発芽 ・既設フェンスから新設フェンス上流にかけて増殖 ・新設フェンスによる流動制御によりフェンス下層へと貫入するものの、高い浮力を有するマイクロキスティス属は表水面へと再浮上 ・ダムサイト基準地点でマイクロキスティス属が集積（アオコの発生）
8月		<ul style="list-style-type: none"> ・表水温の上昇に伴い、表水層が形成 ・既設フェンス及び新設フェンスによる流動制御により表水層への窒素供給が遮断 ・表層に集積していたマイクロキスティス属は窒素制限により衰退（アオコの衰退） ・光要求性の低い直鎖型のアナベナ属は変水層で増殖を維持 ・一方、螺旋型のアナベナ属は変水層では増殖を維持できず深水層へ沈降
9月		<ul style="list-style-type: none"> ・表水温の低下に伴い、表水層が解消 ・表水層の解消により、変水層で増殖していたアナベナ属が表水面に浮上 ・アナベナ属の表水面への集積により、表層のジェオスミン濃度が上昇
10月		<ul style="list-style-type: none"> ・表水温の低下によりアナベナ属の活性が低下 ・アナベナ属の呼吸量の減少により、ガス胞の形成が阻害（浮力の低下） ・アナベナ属の浮力低下により、個体群の一部は深水層へ沈降 <p>・11月に入ると貯水池内の水温が全層に渡り低下し、全層循環状態に変化</p> <p>・アナベナの増殖活性が低下することによりアオコ現象が衰退</p>

-  :アファニゾメノン
-  :マイクロキスティス属
-  :アナベナ属(螺旋型)
-  :アナベナ属(直鎖型)

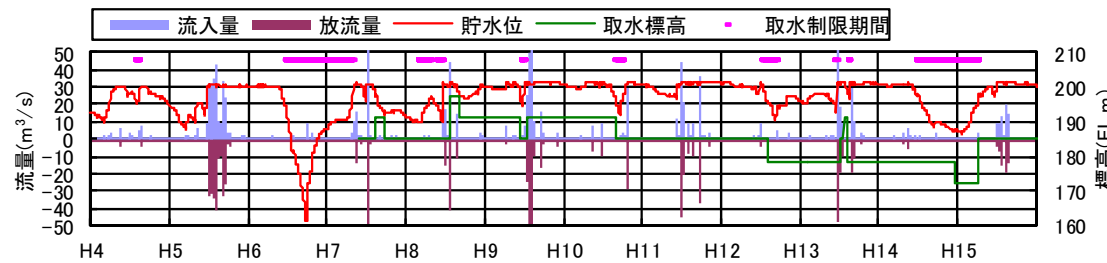
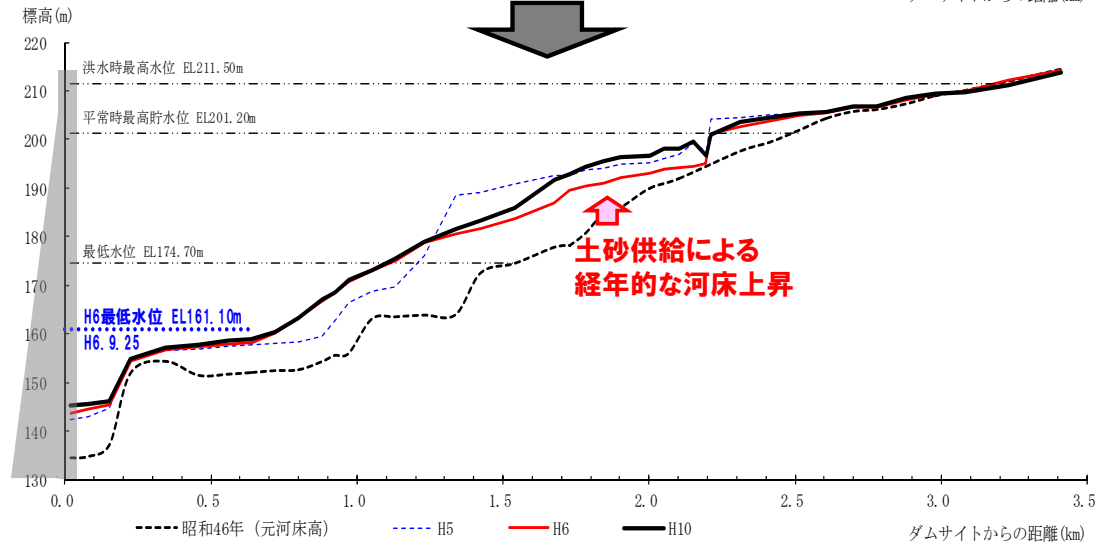
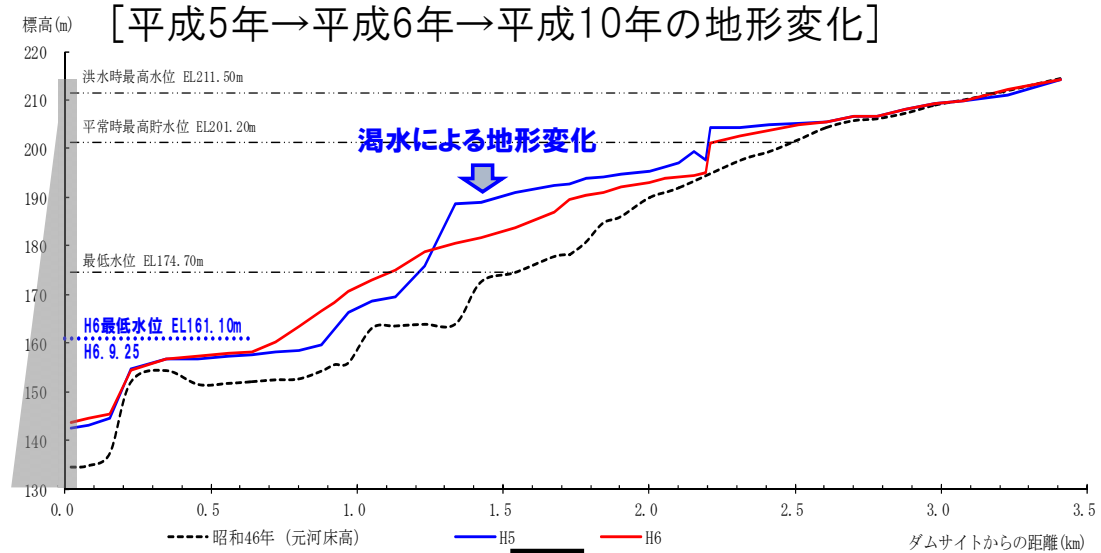
2. 想定される水質問題発生メカニズム

(3) 水質変化現象の質の変化をもたらした要因 ~ 貯水池地形の変化

- 平成6年渇水時に貯水池上流部の堆砂テラスが崩れ、貯水池下流部に堆砂した
 - 平成6～9年間はアオコが発生しなかった
 - 堆砂形状が平成5年当時に回復した平成10年よりアオコが再発した
- ⇒ 堆砂テラスがアオコ発生源として機能している可能性

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
S57												
S58												
S59												
S60												
S61												
S62												
S63												
H1												
H2												
H3												
H4												
H5												
H6												
H7												
H8												
H9												
H10												
H11												
H12												
H13												
H14												
H15												
H16												
H17												
H18												
H19												
H20												
H21												
H22												
H23												
H24												
H25												
H26												
H27												

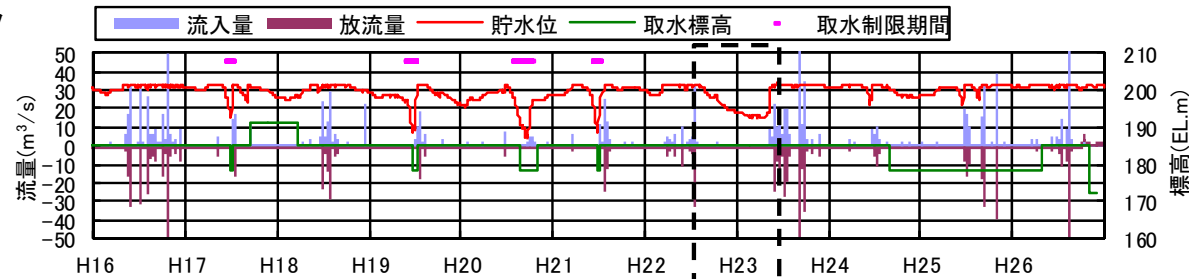
: 植物プランクトン調査未実施の期間
 : 水質調査結果に基づき、藍藻類が約500細胞/mL以上【アオコ発生に近い状況】
 : 水質調査結果に基づき、藍藻類が1000細胞/mL以上【アオコ発生】
 : 水質調査結果に基づき、藍藻類が10000細胞/mL以上【アオコ大発生】



2. 想定される水質問題発生メカニズム

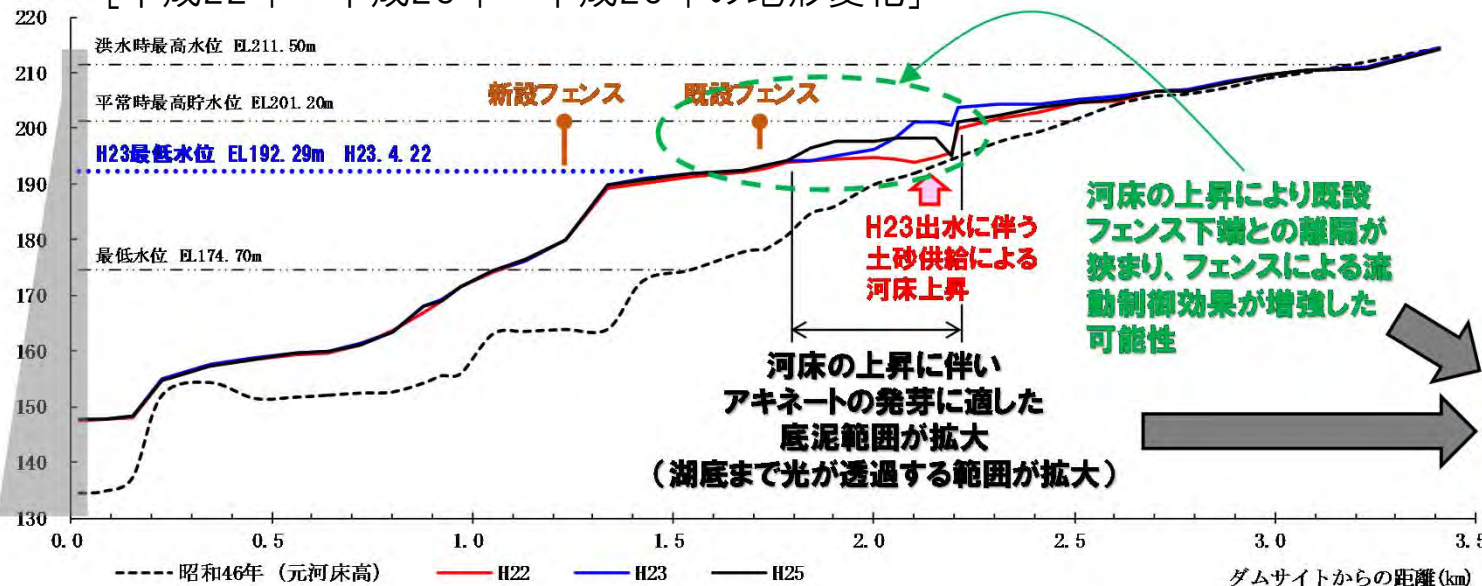
(3) 水質変化現象の質の変化をもたらした要因 ~ 貯水池地形の変化

- 平成22～25年の間に貯水池上流部の堆砂テラス地形が変化(主要因はH23出水)し、底泥標高が上昇した
- 休眠孢子を有する藍藻類(アナベナ属,アファニゾメノン属)は発芽条件として光による刺激が必要
⇒ 堆砂テラスの河床上昇により、アオコ原因藻類の休眠孢子(アキネート)の発芽条件に適した底泥範囲が拡大した可能性
- 平成22年9月～23年5月に貯水位が低下した
⇒ 底泥環境(泥温や光透過量)の変化がアオコ発生や種組成に影響を及ぼした可能性
- 堆砂テラスの河床が上昇したことにより、フェンス下端と河床との離隔が狭まった
⇒ 流入水の流動制御効果が強まり、浮遊する藍藻類(アナベナ属, アファニゾメノン属)が選択的に移送されやすくなった可能性



↓
EL.201.20m～EL.192.29mまで低下

標高(m) [平成22年→平成23年→平成25年の地形変化]



河床の上昇により既設フェンス下端との離隔が狭まり、フェンスによる流動制御効果が増強した可能性

河床の上昇に伴いアキネートの発芽に適した底泥範囲が拡大(湖底まで光が透過する範囲が拡大)

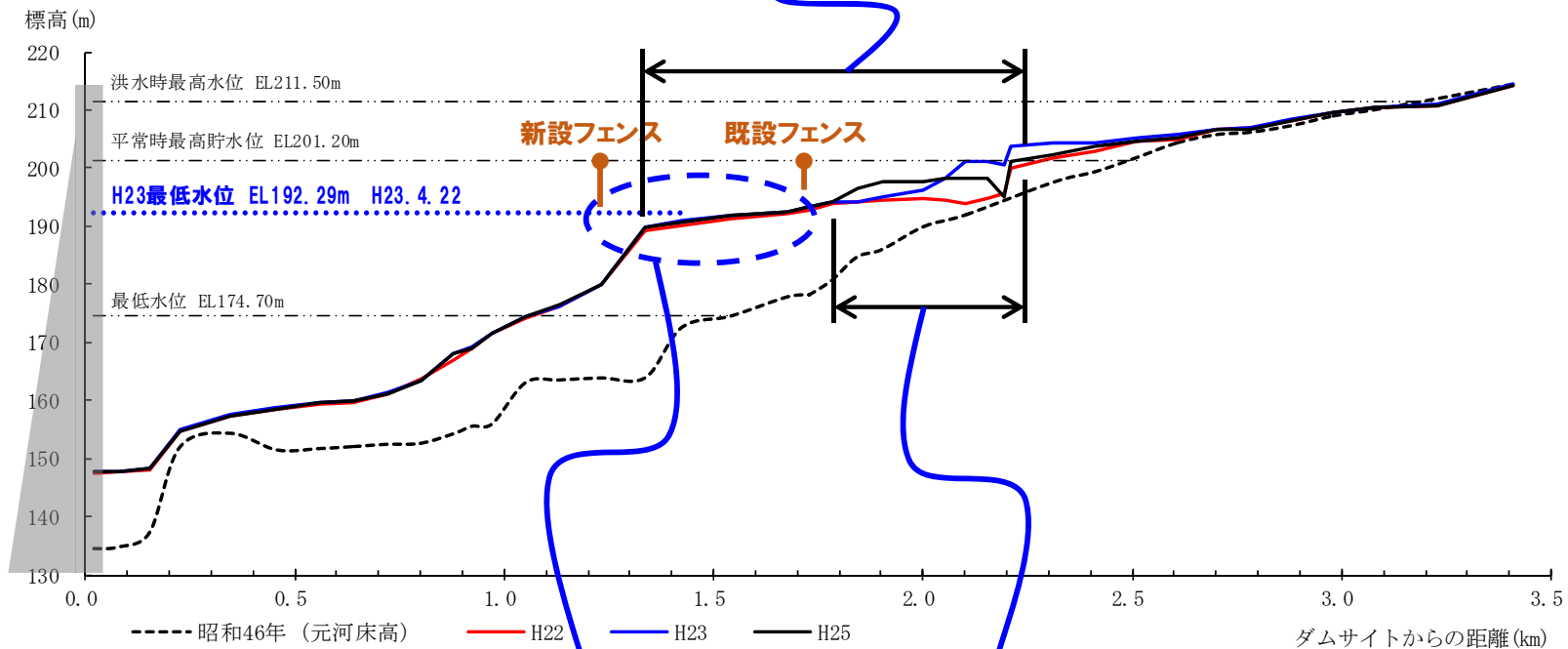
近年のアナベナ属やアファニゾメノン属の発生及びそれらを原因とするカビ臭現象と密接に関連している可能性

2. 想定される水質問題発生メカニズム

(4) 総合考察

① 底泥からのアオコ・カビ臭原因藻類種の回帰

堆砂テラスが底泥からのアオコ・カビ臭原因藻類の回帰に適した環境(発生源)として重要な役割



H22夏季～H23春季の貯水位低下

⇒ アオコ発生源となる底泥範囲まで光エネルギーが透過し、ミクロキスティス属からアフアニゾメノン属への遷移が促された

平成23年のアオコ優占種の変化

⇒ それ以降は、大きく貯水位が低下しなくても堆砂テラスの底泥まで光エネルギーが透過しやすくなる
⇒ アナベナ属が発生しやすくなった

2. 想定される水質問題発生メカニズム

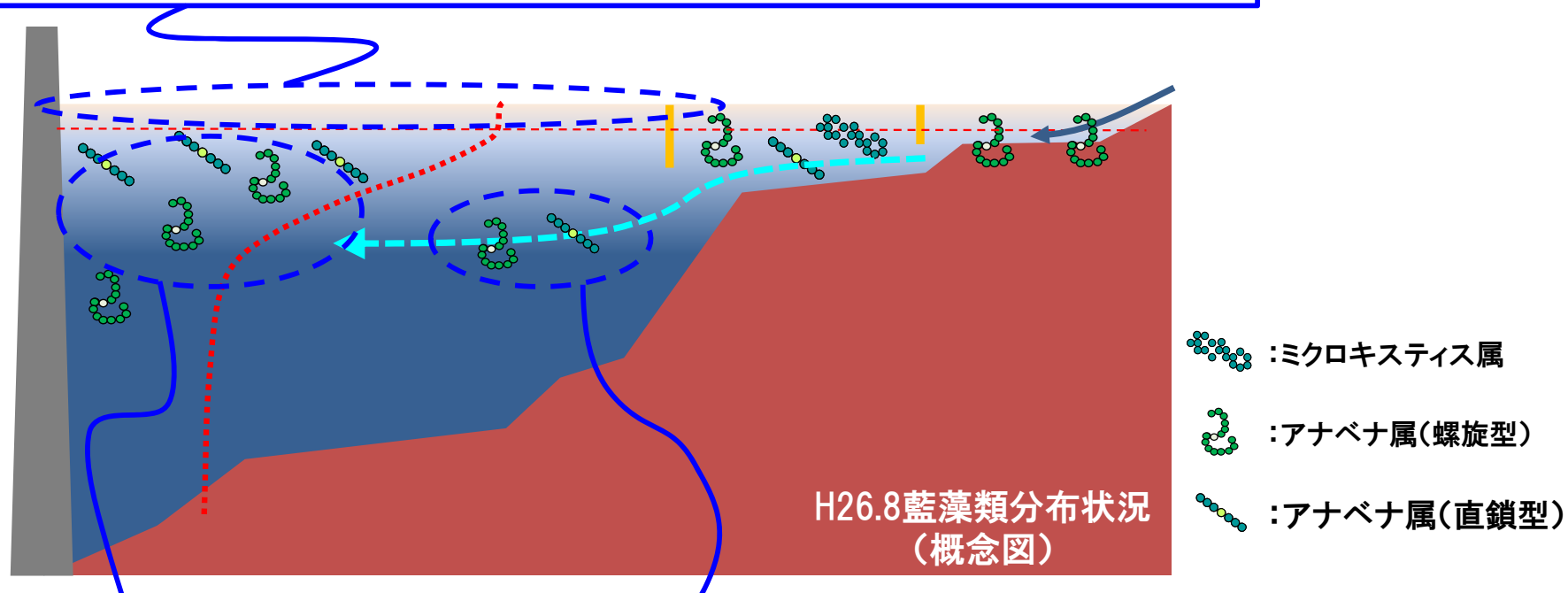
(4) 総合考察

②貯水池表層でのアオコ・カビ臭原因藻類の増殖

新設フェンス設置により流入水の中層への貫入が促進(流動制御効果の向上)

⇒ ダムサイト付近の表層への栄養塩類の供給が減少

⇒ 表層2mの範囲でのミクロキスティス属の増殖期間が限定



新設フェンス設置により表層付近の水温成層の形成が強化

⇒ 湖面～水深2mの範囲はミクロキスティス属がより集積しやすい環境

⇒ 水深2m以深は上流から流出してきたアナベナ属が蓄積されやすくなった可能性

フェンスによる貯水池水面の分割

⇒ 大型の群体を形成し高い浮力を有するミクロキスティス属の下流への流出が抑制

⇒ 浮力が比較的弱いアナベナ属の流出が促進

3. メカニズム解明へ向けた調査・検討

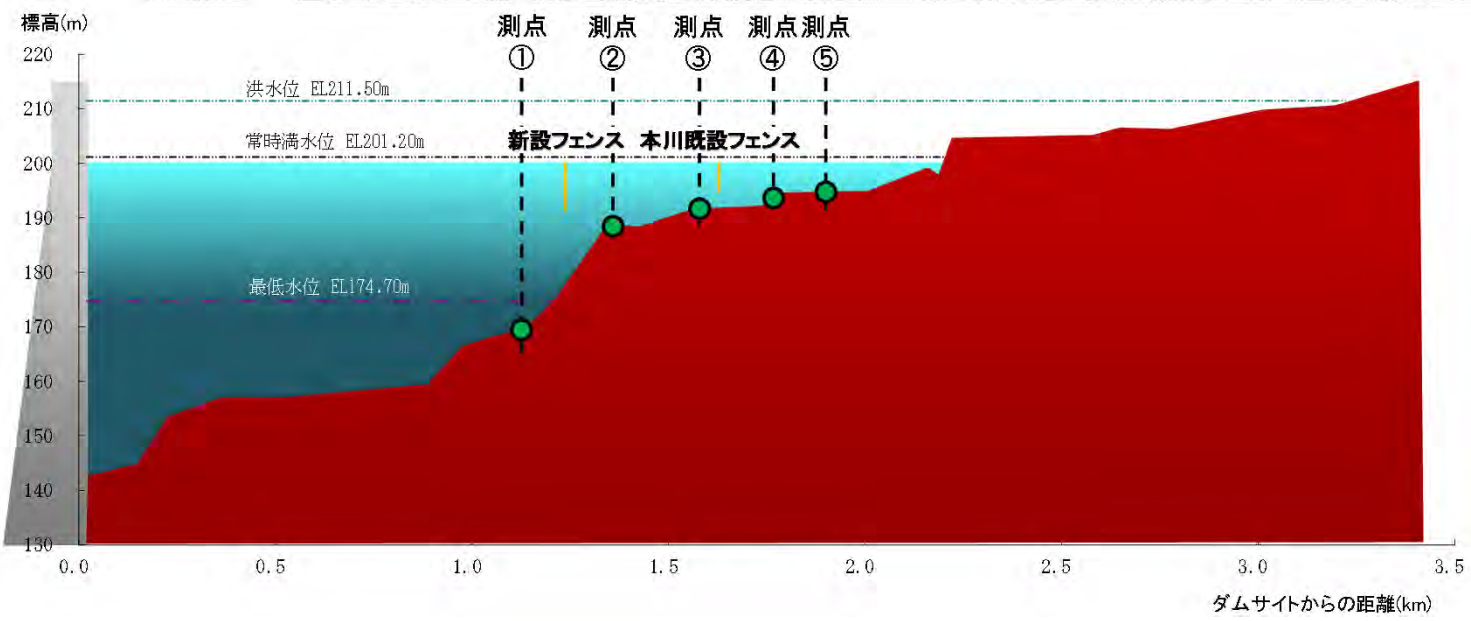
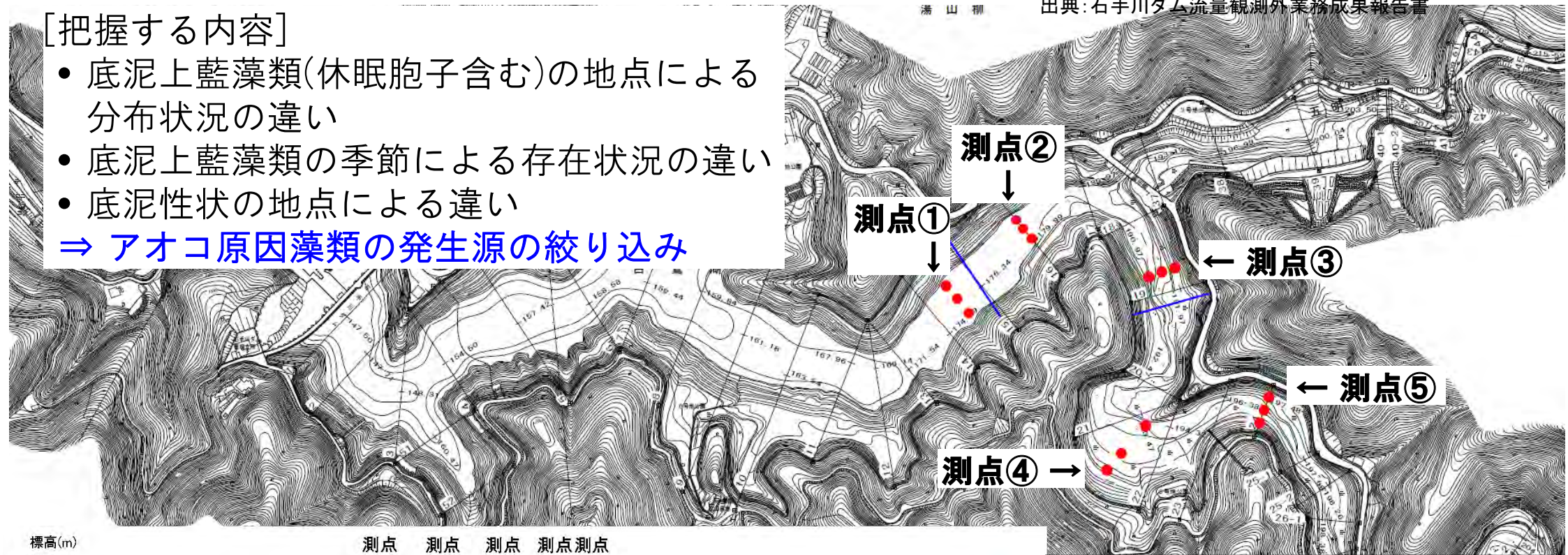
(1) アオコ原因藻類の発生源を把握するための調査

[把握する内容]

- 底泥上藍藻類(休眠孢子含む)の地点による分布状況の違い
- 底泥上藍藻類の季節による存在状況の違い
- 底泥性状の地点による違い

⇒ アオコ原因藻類の発生源の絞り込み

湯山 柳 出典:石手川ダム流量観測外業務成果報告書



調査項目	調査数量
調査地点	貯水池上流部底泥 計15地点(図参照) ※表泥1cmを採取
調査頻度	アオコ発生前(6月) アオコ発生期間(9月) アオコ衰退後 計3回
分析項目	植物プランクトン同定計数 粒度分布、強熱減量、 COD、T-N、T-P

3. メカニズム解明へ向けた調査・検討

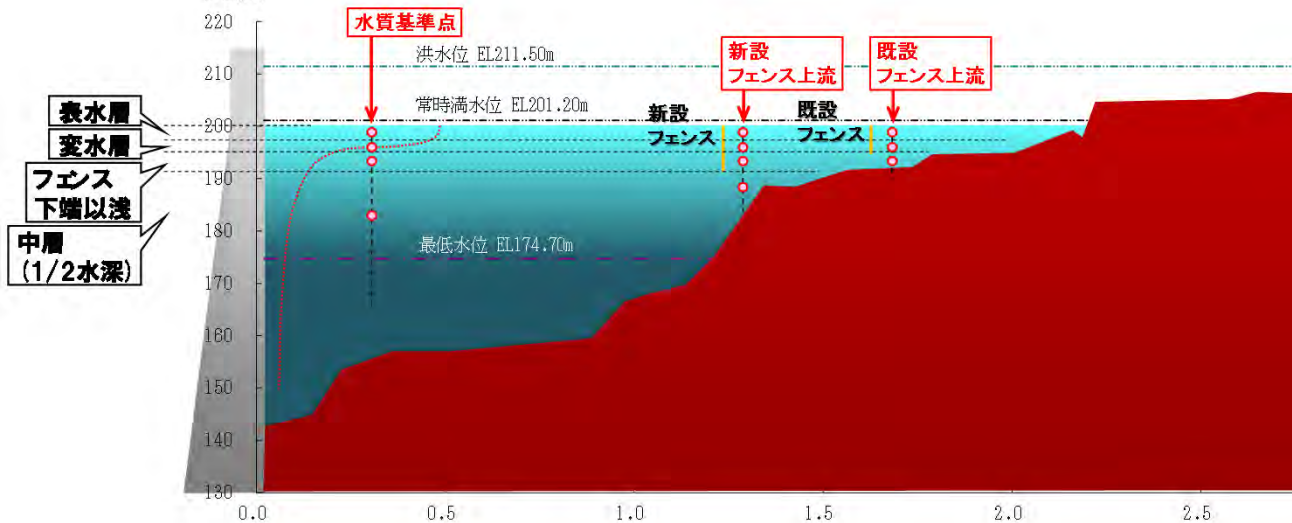
(2) 藍藻類の鉛直・縦断方向の分布を把握するための調査

[把握する内容]

- 藍藻類の鉛直方向及び縦断方向の分布状況の種類レベルでの違い
 - 季節変化に伴う藍藻類分布（上記）の変化
- ⇒ フェンスにより分離された各水塊における藍藻類生息環境の違いを把握し、メカニズム仮説を検証

採水地点(深度)	備考欄
①-1:水質基準点(表層)	その時の水温成層状況に応じて、採取深度を決定する必要がある
①-2:水質基準点(変水層)	
①-3:水質基準点 (フェンス下端以浅)	②採取深度～8mの間で採取
①-4:水質基準点 (中層、1/2水深)	
②-1:新設フェンス上流地点 (表層)	その時の水温成層状況に応じて、採取深度を決定する必要がある
②-2:新設フェンス上流地点 (変水層)	
②-3:新設フェンス上流地点 (フェンス下端以浅)	⑥採取深度～8mの間で採取
②-4:新設フェンス上流地点 (中層、1/2水深)	
③-1:既設フェンス上流地点 (表層)	その時の水温成層状況に応じて、採取深度を決定する必要がある
③-2:既設フェンス上流地点 (変水層)	
③-3:既設フェンス上流地点 (フェンス下端以浅)	⑩採取深度～8mの間で採取

調査項目	調査数量
調査地点	水質基準点、新設フェンス上流地点、既設フェンス上流地点
調査深度	右表及び下図の通り
調査頻度	アオコ発生時期(※定期水質調査時に採水)
分析項目	植物プランクトン同定計数



ダムサイトからの距離(km)

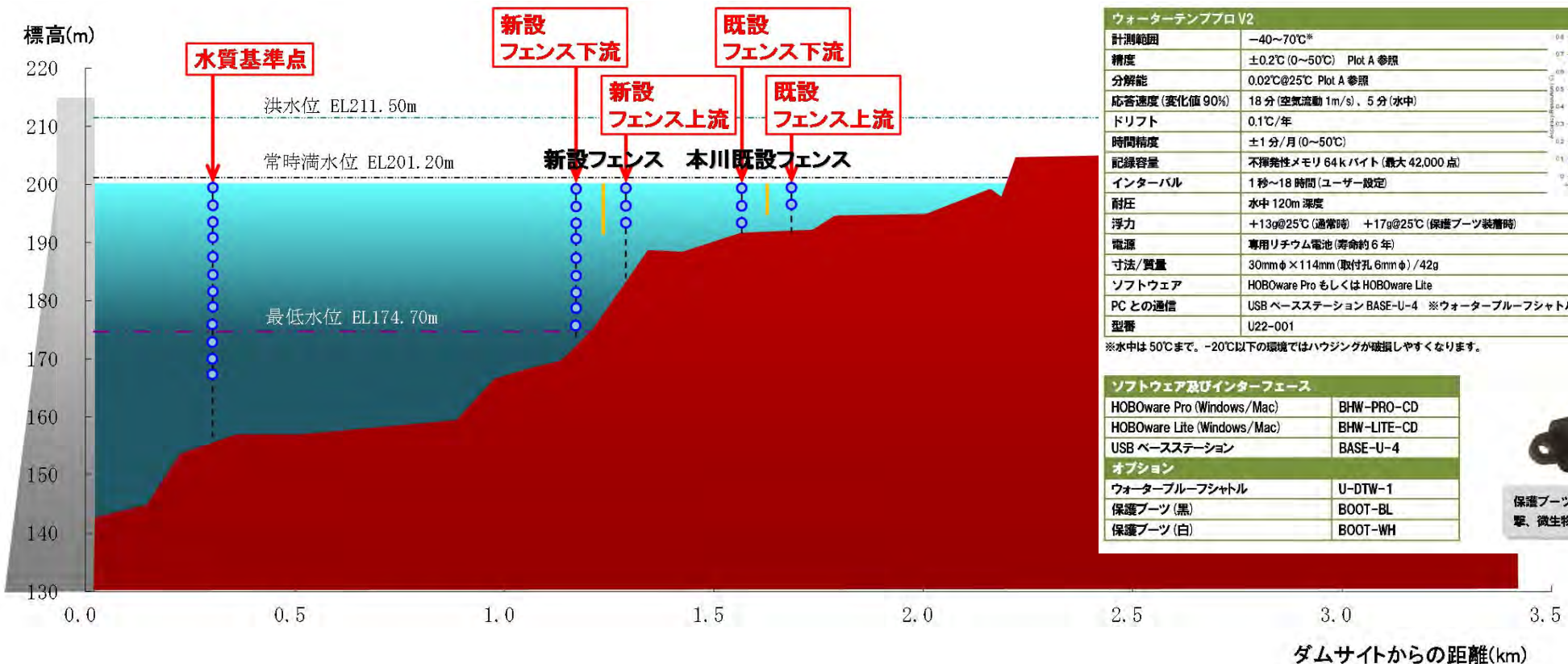
3. メカニズム解明へ向けた調査・検討

(3) 貯水池内の水温鉛直分布の違いを把握するための調査(地点間の違い、日変化)

[把握する内容]

- 貯水池内の水温鉛直分布の違い
(フェンスにより分離された水塊毎の違い)
 - 貯水池内の水温鉛直分布の時間変化
(表層付近の一次躍層の1日の中での消長の状況)
- ⇒ 夜間の放射冷却に伴う水温成層の一時的弱化的状況を把握し、フェンスを跨いだ藍藻類(特に浮力の弱いタイプ)の移送の可能性を検証

調査項目	調査数量
計測地点	水質基準点 フェンス下流・フェンス上流 既設フェンス下流・既設フェンス上流
計測深度	0.1m,0.5m,1m,以下20m深まで1mピッチ
計測期間	6月～11月
計測頻度	1回/時間(計器設定)
計測項目	水温



ウォーターテンプロ V2

計測範囲	-40~70℃*
精度	±0.2℃ (0~50℃) Plot A 参照
分解能	0.02℃@25℃ Plot A 参照
応答速度(変化値 90%)	18分(空気流動 1m/s)、5分(水中)
ドリフト	0.1℃/年
時間精度	±1分/月(0~50℃)
記録容量	不揮発性メモリ 64k バイト(最大 42,000 点)
インターバル	1秒~18時間(ユーザー設定)
耐圧	水中 120m 深
浮力	+13g@25℃(通常時) +17g@25℃(保護ブーツ装着時)
電源	専用リチウム電池(寿命約 6年)
寸法/質量	30mmφ×114mm(取付孔 6mmφ)/42g
ソフトウェア	HOBOWare Pro もしくは HOBOWare Lite
PC との通信	USB ベースステーション BASE-U-4 ※ウォーターブルーファトルでも可
型番	U22-001

※水中は 50℃まで。-20℃以下の環境ではハウジングが破損しやすくなります。

ソフトウェア及びインターフェース

HOBOWare Pro (Windows/Mac)	BHW-PRO-CD
HOBOWare Lite (Windows/Mac)	BHW-LITE-CD
USB ベースステーション	BASE-U-4
オプション	
ウォーターブルーファトル	U-DTW-1
保護ブーツ(黒)	BOOT-BL
保護ブーツ(白)	BOOT-WH



保護ブーツは、本体の通信面やハウジングを衝撃、微生物の付着などから保護します。

3. メカニズム解明へ向けた調査・検討

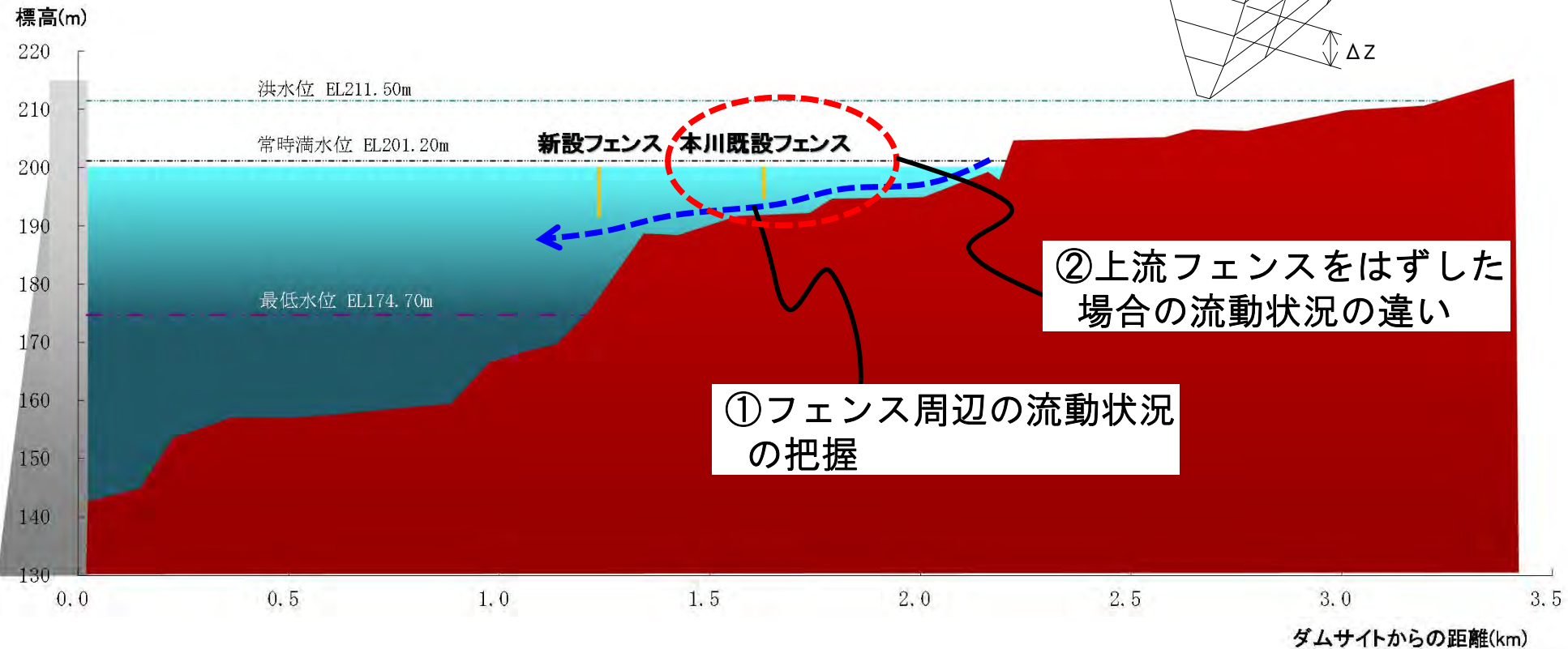
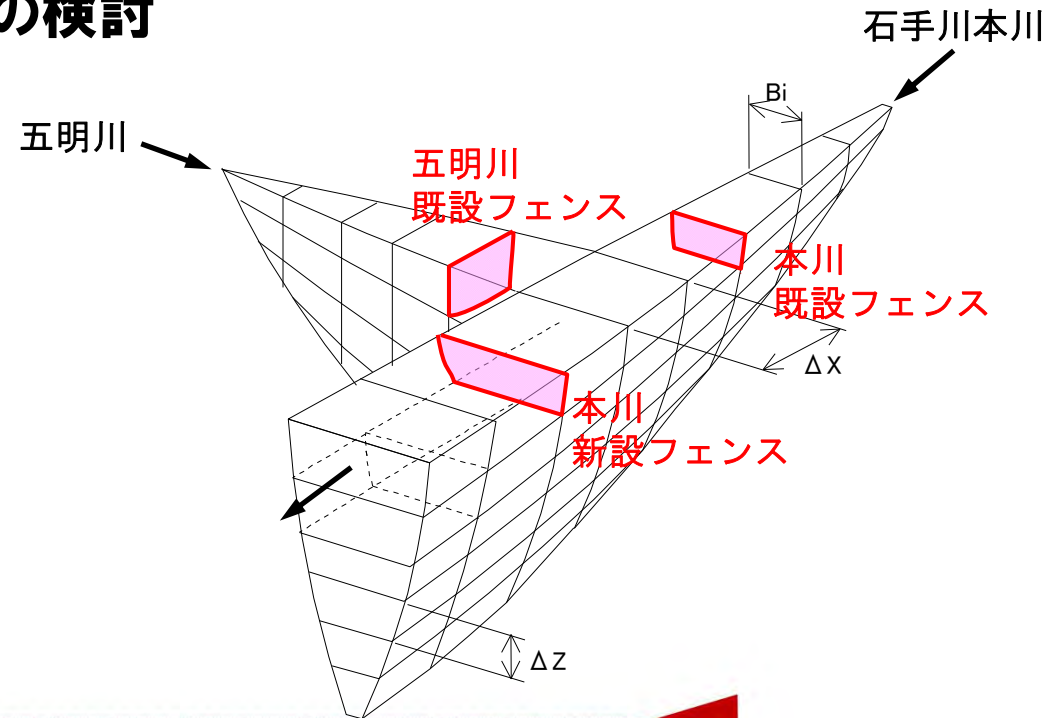
(4) フェンスによる流動制御効果を把握するための検討

[把握する内容]

- フェンス周辺の流動状況(平水時及び出水時)
- フェンス有無(特に既設フェンス)による流動制御効果の違い

⇒ フェンスの存在が貯水池内での藻類構成の違いに及ぼす影響を検証

※以上の検証には、貯水池流動モデル(鉛直二次元モデル)を用いる



4. 今後の予定

(1) アオコ・カビ臭発生メカニズムを踏まえた対策例

①アオコ発生源対策

- 土砂浚渫・土砂掘削
(発生源となる堆砂テラスの除去)
- 干し上げ
(発生源となる堆砂テラスの環境改変)



土砂掘削



干し上げ

出典:山鳥坂ダム工事事務所資料

②藻類発生抑制対策

- 既設フェンスの撤去
(運用・設置方法の改善)
- 曝気循環、プロペラ循環等
(循環混合による増殖環境の改変)

③負荷量削減対策

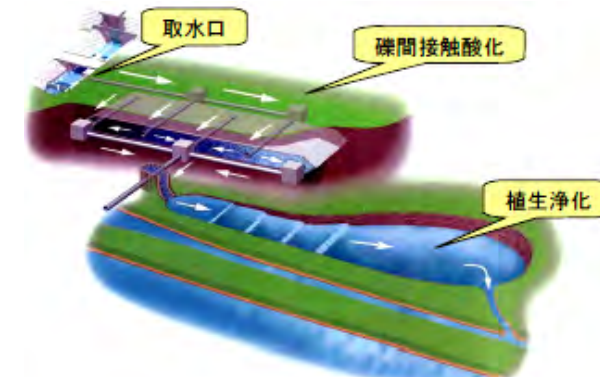
- 流域対策による流入負荷量の削減
- 礫間浄化、植生浄化等
(流入水処理による流入負荷量の削減)

流動制御フェンス

曝気循環施設

プロペラ式循環装置

礫間浄化施設



4. 今後の予定

(2) 第2回検討委員会での議事(案)

① 平成27年度調査結果を踏まえたメカニズムの検証結果

- 発生源に関する検証結果の提示
- アオコ原因藻類の種の変化に関する検証結果の提示
- アオコ・カビ臭発生メカニズムに関する検証総括の提示

② 次年度以降の対策の方向性の提案

- 対策の方向性に関する検討結果の提示

(3) 第2回検討委員会の開催予定

- 開催時期：平成28年2月中旬
- 開催場所：松山河川国道事務所 会議室