

大野川河床低下時の赤潮発生メカニズムと抑制対策について

古川 裕樹¹・猪原 浩二・小野 富生²

¹⁻³九州地方整備局 大分河川国道事務所 (〒870-0820 大分県大分市西大道1-1-71)

大野川河口域では、別府湾から遡上した塩水が滞留し、水質が悪化傾向にあり、近年は河口域で赤潮が発生するようになってきている。大野川河口域で赤潮が発生するようになった要因、並びに赤潮消長のメカニズムを現地調査と水質解析シミュレーションから分析し、今後予定されている河川改修事業による水質への影響について予測検討した結果を報告する。

キーワード 大野川、水質、赤潮、河床低下、水質解析シミュレーション

1. はじめに

大野川は、その源を熊本県宮崎県大分県境の祖母山に発し、急峻な山地が占める上流部から多くの支川を合わせて中流峡谷部を流下し、大分平野にて判田川等を合わせ、大分市大津留において乙津川を分派し、別府湾に注ぐ河川形態を呈している。下流部は人口・資産の集中する大分市街部を流れ、河口域では鉄鋼、石油精製、石油化学等の工業が進出している。

2. 大野川河口域における水質の現状

(1) 水質調査の概要

大野川直轄管理区間内では過年度来、白滝橋、鶴崎橋、家島、海原橋において河川水質調査を実施している。古くは家島地点の昭和43年から測定されている。

白滝橋地点における豊水流量は、平成5年の121m³/sが大きく、平成6年の21.8m³/sが最小である。近年は、このような大きな流況の変動は生じていない。(表-1)

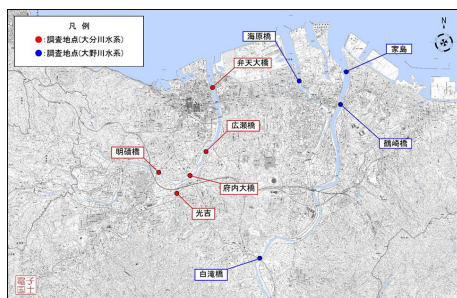
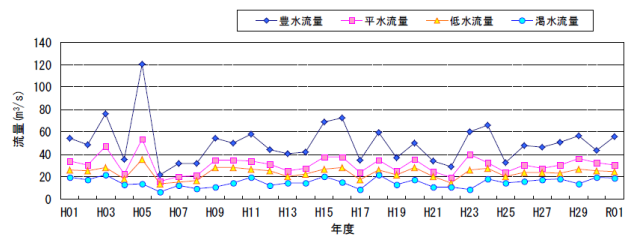


図-1 大野川河川水質調査地点

表-1 大野川流況(白滝橋)

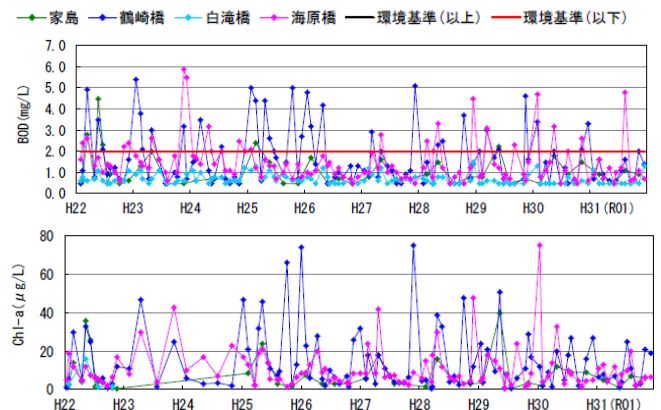


(2) 近年の水質変化

経月変化のとりまとめを表-2に示す。

BODは白滝橋と家島では近年0.5~1.5mg/L程度で推移しており、環境基準値は満足している。一方、鶴崎橋は冬期~春期を中心に高濃度となっており、環境基準値を超過している。クロロフィルaは家島は突発的に高濃度となる期間があるが、概ね20μg/L以下で推移している。鶴崎橋は春期を中心に高濃度となっており、60~70μg/Lを超過する期間も見られる。

表-2 大野川水質の経月変化



(3) 栄養塩の構成形態別変化

平成22年～令和元年について、大野川各調査地点における全窒素、全リンの構成形態をとりまとめた結果を表-3に示す。窒素について、白滝橋と家島と比較して鶴崎橋は有機態の割合が大きい。これは、鶴崎橋地点での植物プランクトンによる内部生産により無機態窒素が摂取され、有機態に変化したためであると考えられる。

(4) 栄養塩とクロロフィルa

富栄養化現象とは、栄養塩類の増加により、植物プランクトンの異常繁殖が生起することで、赤潮による着色などの障害を起こすこともある。富栄養化の状況を把握するために、鶴崎橋地点での富栄養状況を表-5に整理した。T-Pでの判定では富栄養化階級となっている。クロロフィルaでの判定については、家島で年平均クロロフィルaは中栄養に位置づけられるが、その他は富栄養レベルと判定される。

表-3 窒素の構成形態別平均値

地点		無機態窒素 (mg/L)			有機態窒素 (mg/L)	内容
		アンモニウム態窒素	亜硝酸態窒素	硝酸態窒素		
大野川	家島	0.059	0.009	0.559	0.194	無機態、有機態の割合は、概ね3:1程度である。
	鶴崎橋	0.079	0.009	0.430	0.226	無機態、有機態の割合は、概ね2:1程度である。
	白滝橋	0.012	0.008	0.894	0.202	無機態、有機態の割合は、概ね4.5:1程度である。
乙津川	海原橋	0.173	0.019	0.692	0.349	無機態、有機態の割合は、概ね2.5:1程度である。

表-4 リンの構成形態別平均値

地点		無機態リン (mg/L)		有機態リン (mg/L)	内容
		オルトリン酸態リン	ピロリン酸態リン		
大野川	家島	0.014	0.014	0.015	無機態、有機態の割合は、概ね1:1程度である。
	鶴崎橋	0.014	0.014	0.022	無機態、有機態の割合は、概ね0.7:1程度である。
	白滝橋	-	-	-	-
乙津川	海原橋	0.104	0.104	0.033	無機態、有機態の割合は、概ね3:1程度である。

表-5 富栄養化階級 (H22～R1)

項目	OECD 基準			家島	
	貧栄養	中栄養	富栄養	水質	判定
年平均 T-P (mg/L)	<0.010	0.010 ～0.035	0.035～	0.035	富栄養
年平均クロロフィル a (μg/L)	<2.5	2.5～8	8～	7.5	中栄養
年最大クロロフィル a (μg/L)	<8.0	8～25	25～	40	富栄養

項目	OECD 基準			鶴崎橋	
	貧栄養	中栄養	富栄養	水質	判定
年平均 T-P (mg/L)	<0.010	0.010 ～0.035	0.035～	0.038	富栄養
年平均クロロフィル a (μg/L)	<2.5	2.5～8	8～	14.0	富栄養
年最大クロロフィル a (μg/L)	<8.0	8～25	25～	75	富栄養

(5) 過年度の赤潮発生状況

大野川の鶴崎橋地点では、冬～春にかけての水質が環境基準値を上回る傾向がみられている。大野川河口域では水面が褐色化する状況が見られ、～5月には赤潮状態となる期間が見られる。(図-2)

河床低下が進行することで、河口域で水塊が滞留しやすくなり、植物プランクトン増殖に起因したCOD濃度の上昇が生じていると考えられる。(表-6)

大野川河口域における赤潮発生が最初に確認されたのは1996年2月であり、川添橋周辺で褐色に染まる現象が見られたため、臨時調査を実施してクリプト藻綱のクリプトモナス(赤潮原因種)が観測された。

その後、2004年頃からはBOD値の基準超過や河川水の変色に伴い植物プランクトンの臨時調査を実施しており、2014年8月より定期調査項目として鶴崎橋において定量分析を毎月実施している。

河川水を褐色に染めるクリプト藻綱は1月～5月初旬に発生する傾向にあり、特に3月、4月で顕著に発生している。鶴崎橋では概ね干潮時刻後(30分～1時間後)に顕在化する。

クロロフィルaの測定を開始した2014年以降でBODとクロロフィルaの経月変化、BODとクロロフィルaの相関関係を表-7に示す。

近年では2017年4月、5月にクロロフィルaが200 μg/Lを超過しており、クリプトモナスが大発生していた。2016年3月、4月もクロロフィルaが100 μg/Lを越えており、クリプトモナスが優占種となっている。

春期を中心にクリプトモナスを優占種とする赤潮が発生する傾向にある。

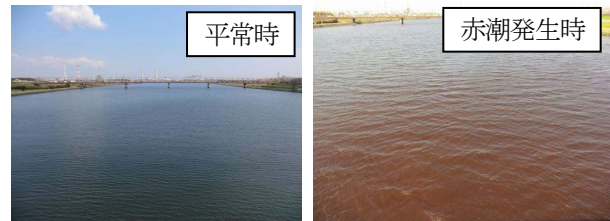


図-2 赤潮の発生状況(鶴崎橋下流)

表-6 鶴崎橋地点の水質、水深の経年変化

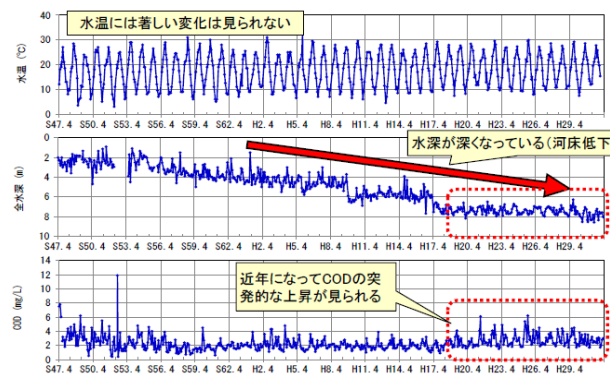


表-7 鶴崎橋地点のBOD・クロロフィルa

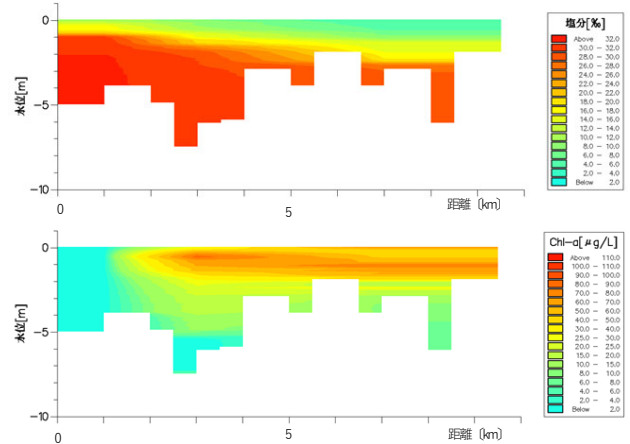
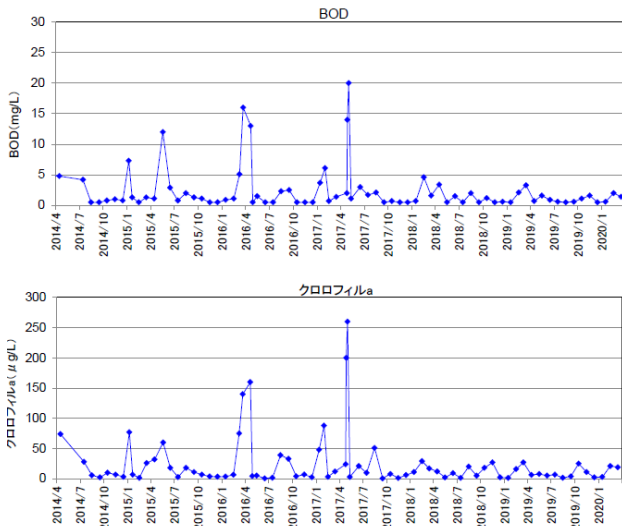


図-4 縦断コンター図

3. 現地水質調査

(1) 塩分躍層と植物プランクトンの分布

大野川河口域における赤潮消長のメカニズム把握の上で重要なのが、現在の水質動向の実態を把握することであり、現時点で河口域における塩水くさびの実態(遡上範囲, 躍層位置, 濃度)が掴めていない点が課題として挙げられる。

このため、過年度において赤潮が発生している期間を対象に、河口部, 鶴崎橋, 川添橋で自記録式水温・EC計による連続観測(表層・下層), 機器鉛直測定(水温, DO, 塩分, クロロフィルa, COD, 無機態栄養塩等の採水分析を行った。

塩分躍層と植物プランクトンの分布を図-4に示す。

調査期間中、河口部から川添橋まで強固な塩分躍層が形成されており弱混合型である。塩分躍層付近のクロロフィルaが高いことから、赤潮原因種は躍層付近に滞留していると考えられる。川添橋から河口部にかけてクロロフィルa濃度は低下、川添橋付近から鶴崎橋まで赤潮が広がる状況となっている。

(2) 植物プランクトンの優占種

河口域3地点の植物プランクトン優占種と細胞数によると、川添橋と鶴崎橋はクリプト藻綱が主な種属であり、いずれもクリプトモナスが優占種である。細胞数は川添橋が大きく、川添橋>鶴崎橋>大在大橋の関係となっていた。

川添橋では4月28日までクリプトモナスが優占種で赤潮となっているが、5月14日には川添橋も珪藻類が優占種となり、赤潮が解消している。(表-9)

4月28日から5月14日にかけて、気温が上昇しており、20℃を越える日が見られる。その結果、上層の水温が20℃越え、下層水温も15度を越えるような状況となっており、赤潮が見られた4月28日以前とは水温が大きく異なっている。当該調査での推測から、水温が15℃~20℃を超過すると赤潮(クリプトモナス)が増殖しにくくなると考えられる。(表-10)

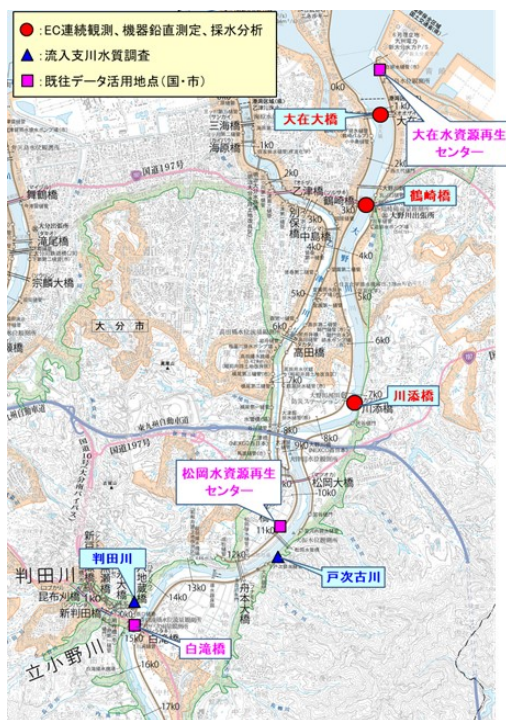
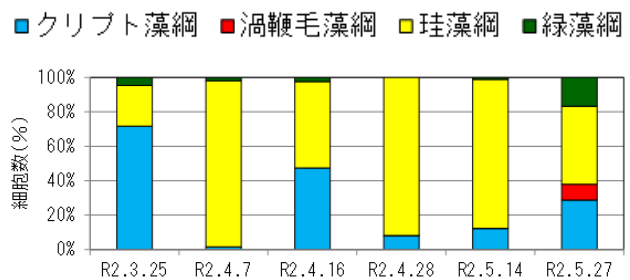


図-3 塩水遡上調査地点

表-8 河口域の植物プランクトン優占種



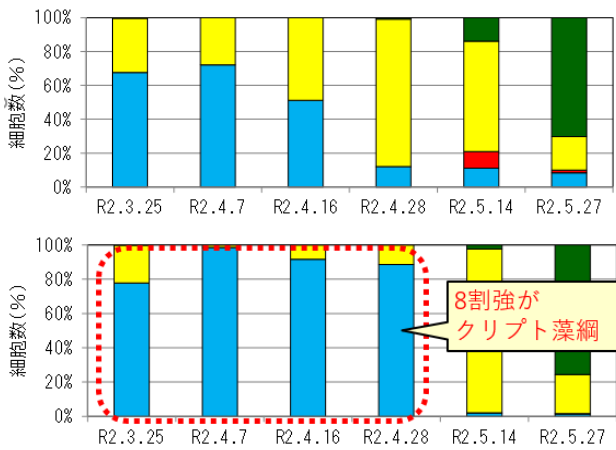
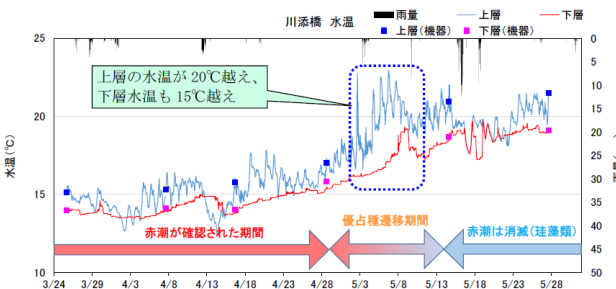


表-9 現地調査期間における水温



(3) 大野川河口域赤潮発生による生態系への影響

赤潮発生による生態系への影響について、海域における渦鞭毛藻・ラフィド藻等を原因種とする漁業被害の事例等が報告されている。大野川の赤潮原因種のクリプトモナス（クリプト藻綱の単細胞藻類で、淡水及び海水に広く分布）は毒性を持たないと言われており、クリプトモナスの赤潮発生に関する国内事例においては、魚類、貝類等の他生物への影響被害は報告されていない。

(4) 赤潮発生のメカニズム

過去4年を対象に、鶴崎橋地点の赤潮発生期間と水文・気象条件の経月変化を整理した。令和2年の調査結果と同様に、水温が18～20℃程度まで上昇した以降ではクリプトモナスが優占種ではなくなり赤潮は解消する。

表-10 鶴崎橋地点の経月変化グラフ



(5) 別府湾水質と河口域水質の関係

河口域と別府湾海域の水質を比較すると、鶴崎橋は2008年度以降でCODが上昇傾向にあるが、海域では改善傾向にある。また、年間での濃度ピークは鶴崎橋では4月～5月で高濃度となるが、海域地点では7～8月で高くなっており傾向が異なる。

前述のクロロフィルa縦断コンター図からも、川添橋＞鶴崎橋＞大在大橋の関係となっており、河口部上流で赤潮状態となっている。

以上より、海域からの水塊遡上が河口域の水質悪化に影響を及ぼしている可能性は無く、大野川河口域の赤潮は海由来ではない。

(6) 大野川と隣接河川の比較

大野川に隣接している大分川河口域で赤潮が発生しない要因について、水質(栄養塩状況)と地形条件から比較検証を行った結果、大分川の方が栄養状態は高いものの、大分川は河床標高が高く水深が浅いため、滞留環境が形成されない地形特性となっている。

大野川は河床標高が低くて水深が深い(5～10m程度)ため、河口域での滞留時間が長く、ダム湖のように植物プランクトンが増殖しやすい環境条件にあると言える。

表-11 大野川と大分川のT-P濃度経月変化

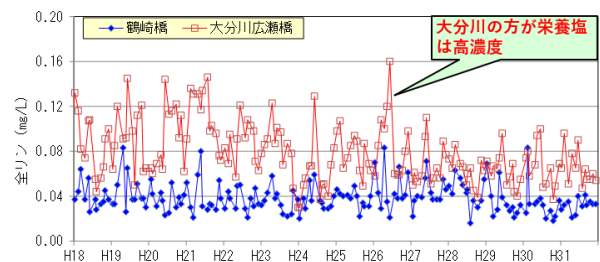


表-12 大野川と大分川のCOD経月変化

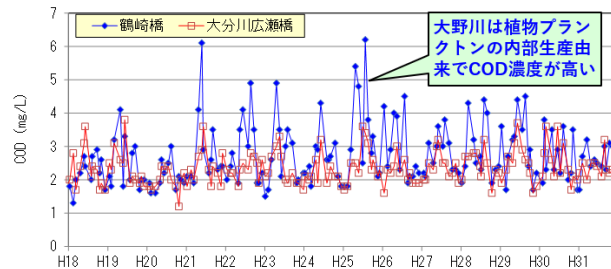
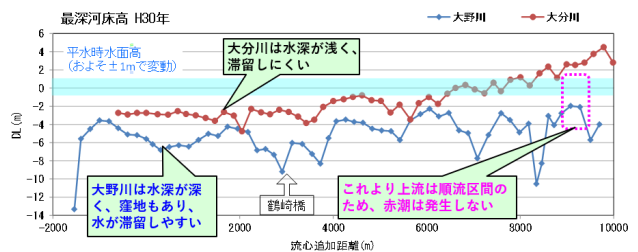


表-13 大野川・大分川河口域 最深河床高の比較(H30年)



4. 赤潮発生要因の検討

(1) 水質解析モデルの構築

赤潮の発生している大野川河口域(-1k/540~乙津川分
流後9k/400)を対象に、赤潮の発生状況を再現可能な水
質解析モデルを構築し、河道安定化対策の実施による水
質への影響について検証を行うことを目的とする。

河口域における横断面の「二極化」、塩水くさびの影
響を再現するため、X,Y,Z 方向にメッシュを分割した平
面二次元多層モデルを適用した。

(2) 水温・赤潮藻類の再現検証

現地水質調査を実施した2020年3月から4月を対象に再
現検証を行った。

水位、水温、塩分、クロロフィルa、赤潮発生メカニ
ズムを概ね再現された。縦断分布においては、全計算期
間において、潮汐により生じる塩水くさびが鶴崎橋~大
津留地区にかけて、弱混合~緩混合に変化する状況が再
現できた。また、淡水と塩水が混合する鶴崎橋~大津留
地区において、赤潮藻類が増殖している実態が再現でき
ていた。

5. 今後の水質予測

(1) 地形条件設定

大野川河口域は依然として河床低下が進行しており、
横断方向には浸食と堆積の「二極化」が進んでいる。平
均河床は安定してきているものの、最深河床は観測以降
5m程度低下していることから、河道安定化対策の実施を
計画している。河道安定化対策が水質に与える影響を予
測するため、以下の地形条件で効果検証を実施する。

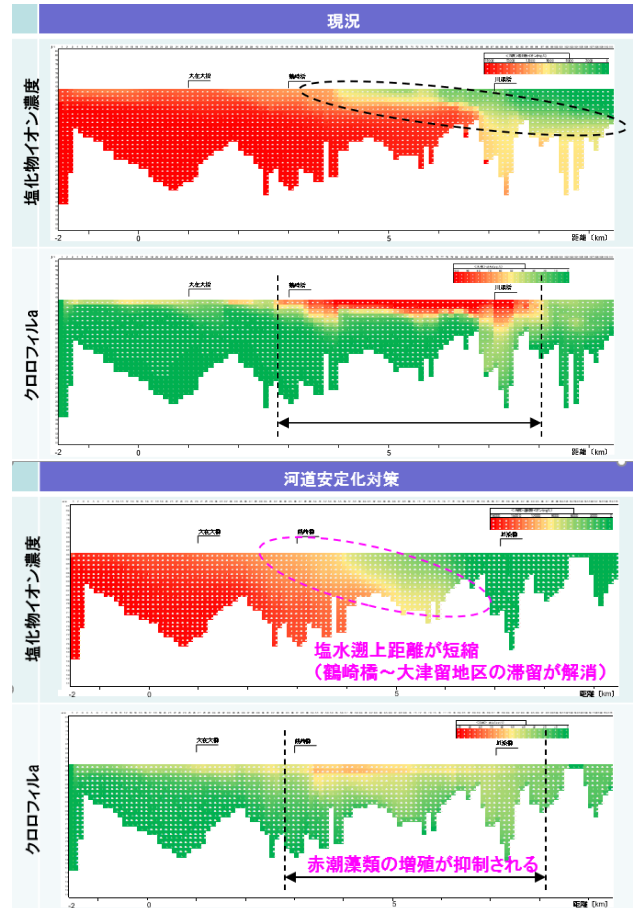
①河道安定化対策後 ②現況-1m ③過去河道(S63)

(2) 河道安定化対策の赤潮軽減効果検証

現況-1mケース(将来的な河床低下進行後の河床)に
おいては、現況に比べて最大赤潮藻類が2~3倍に増殖す
る予測結果となった。

河道安定化対策により、塩水遡上距離が短くなったこ
とにより、川添橋付近まで塩水が上がらなくなり、汽水
域で増殖する赤潮藻類(クロロフィルa)が増殖しにく
い予測結果となった。(表-14)

表-14 塩分遡上・クロロフィルa の予測結果



6. まとめ

大野川河口における赤潮発生を解決するため、水質調
査、水質解析モデルの構築、今後の水質予測について調
査検討した。本検討において、大野川河口域での河道安
定化対策を実施することで、感潮域の回転率向上に伴い
水質が改善傾向となる予測結果が得られた。

大野川下流では河床低下が進行しており、横断方向に
は浸食と堆積の二極化が進んでいることから、治水・
環境の両面において効果的な、河道安定化対策を推進し
ていく。

今後は、河道安定化対策による赤潮軽減効果検証のた
めモニタリング調査を実施し、対策前後における赤潮発
生状況(平面分布、発生量)の把握及び赤潮の増殖環境
(水温、栄養塩条件、塩分環境)の把握により、水質予
測との相関性評価、赤潮発生のさらなる低減を図りたい
と考える。

本検討内容が、他の河川等における赤潮対応の一助と
なれば幸いである。