

漁業集落排水施設の処理水による海域への影響度調査

財団法人 漁港漁場漁村技術研究所
第二調査研究部 大賀之絵

調査実施年度
平成 19 年度

1. 緒言（まえがき）

一般に、漁業集落排水施設の処理水を河川や海域に放流するためには、水質汚濁防止法等が適用され、処理水 1 ml 当りの大腸菌群数は 3,000 個以下に規制されている。これに対処するため、漁業集落排水施設では処理水を塩素消毒しており、また、残留塩素濃度を 0.1 mg/l 程度に維持することが義務付けられている。残留塩素は水質汚濁防止法による規制値を遵守するための副産物として生成されたものである。この残留塩素は普段私たちが使用している水道水と同水準であり、人間にとっては、有害な濃度では無い。

この残留塩素による漁業影響については昔から根強くあり、これまでは処理水の放流先が漁場に近いケースなどで個別に対応が考えられており、大きく顕在化することはなかった。

最近、瀬戸内海域などで海苔の色落ちの問題が各地域で顕在化している。なかでも、瀬戸内水域は過去から赤潮が頻繁に発生し、水質汚濁防止法で陸域からの栄養源流入を厳しく規制してきた歴史があり、また、地球温暖化が原因とされている気候変動等によって、他海域や河川からも栄養源流入が減少した等、ノリの色落ちには複数の要因が絡んだものであるとの意見もある。

しかし、一部の漁業関係者から、下水道処理施設等の塩素処理水が、ノリの色落ちに影響を与えているのではないかという疑念が一部の漁業者等に拡大しつつあるようである。人間に影響が無くても、水生生物などの「生態系」に安全だとはいえない。この点では日常から海域の「生態系」と接触する機会の多い漁業関係者の主張も一理あるようである。

水生生物は多種多様であり、残留塩素による水生生物への影響に関する研究成果は内外共に少なく、影響度を調査することは容易ではないが、漁業集落環境整備事業を推進するうえで、本調査は非常に重要であり、合意過程での説明責任の向上に寄与するものである。

2. 調査の方法

2-1 処理水影響の配慮事例調査

塩素消毒の代替技術として、紫外線殺菌装置を採用した事例を収集分析し、処理水の影響に配慮した水生生物の種類を整理する。

2-2 海域の水生生物に影響を及ぼす物質

文献調査によって、次の事項について調査する。

- (ア) 水生生物に及ぼす毒性や逃避行動
- (イ) 残留塩素の性質、生成過程、海域に排出された場合の化学的な挙動

- (ウ) 残留塩素が水生生物等に逃避行動を引き起こす影響
- (エ) 残留塩素が藻類やプランクトン等に及ぼす影響

2-3 事例調査

事例調査により、処理水による影響範囲を検討する。

- (ア) 新田式、ヨゼフ・センドナー式の活用
- (イ) 実態調査

2-4 影響緩和技術、塩素代替技術の検討

次のような項目について特徴、効果等を検討する。

- (ア) 塩素注入量の最適化
- (イ) 影響緩和技術の検討
- (ウ) 塩素代替技術の検討

3. 調査結果

3-1 処理水影響の配慮事例調査

塩素消毒の代替技術として、紫外線殺菌装置を採用した事例を収集分析し、処理水の影響に配慮した水生生物の種類を整理したので、表-1に示す。生物の種類別にみると、次のようになる。

【漁業資源グループ】

- ア) 魚類……………サケ・マス（淡水魚）、シラス、フグ
- イ) 貝類……………カキ（イワガキを含む）
- ウ) 藻類……………海苔、ワカメ、ヒジキ

【希少資源グループ】

- ア) サンゴ……………エダミドリイシサンゴ
- イ) その他……………藻場

紫外線殺菌装置の導入の主たる要因は魚介類に対する残留塩素の影響を回避することであるが、最近、顕在化したノロウイルス被害を避けるため、より強い消毒能力を期待して、紫外線殺菌装置の導入を決めた事例もある。

藻類や珊瑚類の資源減少の事例として、前者は色落ち、後者は白化等が懸念材料として、報告されるが、塩素が漂白剤として用いられていることも、無関係ではない。

表-1 残留塩素影響の配慮事例調査結果

水生生物の種類	実施地区	水生生物の種類	実施地区
サケ・マス類	猿払村	シラス	田辺市芳養
サケ類	宮古市津軽石	ワカメ	岩美町東
漁業資源全般	久慈市久喜	漁業資源全般	浜田市須津
	大槌町吉里吉里	イワガキ	隠岐の島町知夫
	陸前高田市矢の浦	海苔	隠岐の島町犬来
カキ	石巻市月浦・侍浜	ふぐ、海苔	笠岡市本浦、岩坪
漁業資源全般	女川町小屋取	藻場	大崎上島町沖浦
	女川町塚浜	ワカメ、ヒジキ	上関町四代
海苔	鶴岡市（由良）	エダミドリイシヤコ	徳島県
海苔	南知多町日間賀	漁業資源全般	福岡市玄界
海苔	南あわじ市阿那賀		

3-2 塩素消毒の課題

(1) 塩素消毒の特徴

塩素添加量については尿尿浄化槽の構造基準・同解説告示第12に次のようにある。

「大腸菌群数を 3,000 個/m¹ 以下にするためには残留塩素として 0.1 mg/ℓ 以上になるように塩素注入量を定める必要がある。」尿尿浄化槽の構造基準・解説においては処理水に対する塩素添加量を示していない。漁業集落排水施設の消毒槽を設計する際、現状では類似施設の設計指針を参考に日平均汚水量に対して、5~10 mg/ℓ としている。

一方、公共下水道の処理規模は数万人規模であり、例えば 100,000 人の塩素消毒水の場合、
 $100,000 \text{ 人} \times 300\ell/\text{人} \times 0.1\text{mg}/\ell = 3.0 \text{ kg}$

であるが、漁業集落の平均的な人数 531 人（平成 17 年度漁港背後集落調査）を塩素消毒した場合の残留塩素量の流出量は、

$$531 \text{ 人} \times 270\ell/\text{人} \times 0.1\text{mg}/\ell = 14.34\text{g}$$

で、15g 程度である。

一方、残留塩素には遊離残留塩素と結合残留塩素があり、一般的には遊離塩素のほうがモノクロアミン (NH₂Cl) のような結合塩素よりも酸化力が強く、消毒力が高いとされている。しかし、丸山らは海苔の生育に対する毒性はまったく、逆であるとしている。

さらに、塩素消毒処理水には遊離塩素は検出されず、残留有害性物質のほとんどが結合塩素（主として NH₂Cl）として存在するとしている。

(2) 藻類

日本ではのりなどの海藻類の増養殖場のある沿岸に放流する下水処理場もあり、依然から関心もたれている。しかし、養殖のりの生育に与える塩素の影響に関する研究報告が少なく、下水処理水の影響について報告があるだけである。

Ogawa によると、0.8 mg/ℓ（1時間の平均濃度）以上の残留塩素は褐藻類のホンダワラの発芽に対して強い阻害作用を示し、3種の発芽 EC₅₀ は 3.0~3.8 mg/ℓ であった。クロレラに

対する影響試験から 0.2~1.0 mg/ℓの塩素は藻類の生育阻害作用をもち、水泳プールなどの殺菌に使われる臭素がもつ殺藻作用と異なっているとされている。

その他、湖の植物プランクトンは微量の塩素及びクロラミンによって、細胞内の酵素の破壊もしくは不活性が起こり、硝酸などの吸収が阻害される。大型藻類が塩素に接触すると、藻体量が減少するのが観察されている。

このように塩素の影響はおもに植物の生育の阻害をもたらすと考えられ、0.01 mg/ℓ~10 mg/ℓの範囲で影響が出ているが、全体的には動物の方がより低濃度で影響がでるようである。いずれにしても、塩素処理水の放流域では植物もかなりの影響を受け、これは増養殖藻類に対する影響に止まらず、水生動物（魚類・甲殻類・水生昆虫など）の飼料に対する影響及び大型藻類や付着藻類によって生息環境を損なうという問題を生じる。

表-2 塩素の植物に対する毒性

(単位：mg/ℓ)

種名	症状・効果	濃度	種名	症状・効果	濃度
ホンダワラ類	発芽阻害	—	Chlorella pyrenoidosa (クロレラ)	生育抑制効果	0.1 ~0.42
Sargassum Horneri	発芽率 50%	3.0	植物 プランクトン	基礎生産力の 57%減少	熱 + (0.1 ~1.0)
Sargassum hemiphyllum	発芽率 50%	3.0	海産植物 プランクトン	光合成力 50%減少	<u>0.01</u>
Sargassum thunbergii	発芽率 50%	3.8	Myriophyllum spicatum (フサモ)	96 時間接触 藻体類 30%減 少	0.05 以上
河川植物 プランクトン	光合成 50~90% 減少	2.7	Myriophyllum spicatum (フサモ)	96 時間接触 Chl-a 量 25% に減少	0.1
湖植物 プランクトン	光合成 50%減少	0.32	Chlorella sorokiniana	生育抑制	0.2~1.0
湖植物 プランクトン	硝酸の吸収 50% 減少	0.028	Cladophora sp. (シオグサ)	2 時間接触完全 致死	10
湖植物 プランクトン	30 分接触 Chl-a 量の減少、 光合成量の減少	1.0 以 上	海産植物 プランクトン	光合成量、同化 率の減少	-
Chlorophyceae (緑藻類)	1~2 時間接触 4 回 /日、1 週間で生 残率の減少	0.5、 0.25			

(3) 魚類への毒性、逃避行動

①毒性機構

塩素の毒性は機構で魚類にどのように作用するかについては明確にされているとはいえないが次のような報告がある。

【血液中の無機物の恒常性を乱す作用】

ニジマスの血漿中のリン・マグネシウム・鉄・銅・亜鉛・カリウムの濃度が塩素によるストレスによって増加することが確かめられている。

【溶血】

塩素は鰓を通じて速やかに拡散して、ヘモグロビンをメトヘモグロビンに酸化し、赤血球膜を破壊するために溶血を引き起こす。

【多血球血症】

ヘマクリット値やヘモグロビン濃度の増加による多血球血症もみられた。

【低酸素症】

ヘモグロビンやメトヘモグロビン濃度の増大に付随して起こる血漿濃縮は血液の循環を阻害し、組織への酸素供給を妨げる。これらの現象による貧血症が低酸素症をもたらすことが示された。

Brooks and Seegert は塩素の毒性の作用機構の議論のなかで、塩素の毒性は単一の発現様式や発現箇所において作用するものではないことを意味しているとした。

(4) 諸外国の水質基準

【米国 EPA (環境保護庁)】

米国 EPA が 1976 年に公表した TRC(全残留塩素)の限度は淡水で暖水性種では 0.01 mg/ℓ、冷水性種には 0.002 mg/ℓ であり、海水では 0.01 mg/ℓ である。

【Brungs】

1973 年の総説の中で提唱した暫定基準では放流域の魚類の多様度が 50%減少するのは 0.01 mg/ℓ である等があげられている。さらに、成長や再生産などに及ぼす慢性毒性は急性致死濃度よりもかなりの低濃度でおこることが示唆され、0.002 mg/ℓ 以下がほとんどの水生生物保護のための残留塩素濃度としている。

【Mattice And Zittel】

1976 年の総説では急性毒性の閾値は淡水生物では 1.0 mg/ℓ-1.1 分と 0.0015 mg/ℓ-7, 200 分、海水生物では 0.3 mg/ℓ-10 秒と 0.02 mg/ℓ としている。

【Klapow And Lewis】

カリフォルニア州沿岸海域での全残留塩素濃度 0.002 mg/ℓ を水質標準として提案している。

上述した EPA の淡水域の基準値 0.002 mg/ℓ は非常に厳しいもので、上水道での残留塩素濃度 0.1~0.5 mg/ℓ が人間に有害でないとする、その 50~250 分の 1 の濃度でないと水生生物に対して際立って強いことを示している。塩素処理水の残留塩素濃度については上水道と同列に考えられないことを意味している。

(5) 魚類の逃避行動

残留塩素は魚類に対してかなり低い濃度で逃避行動を起こすものと考えられる。

Giattina, *et al.* によると、魚類は逃避行動をする残留塩素濃度は半数致死濃度の 50% 以下である。サケ・マス類の逃避塩素濃度は 0.05~0.01 mg/ℓ、高温性魚では 0.10~0.40 mg/ℓ、ニジマスでは 0.05 mg/ℓ で最初の逃避の閾値は TRO で 0.002 mg/ℓ など致死濃度と同様にサケ・マス類が塩素について感受性が高いとされている。

塩素に対する魚類の逃避行動は塩素処理水の影響域では魚類が忌避する水域が形成されることを意味している。その影響域の範囲によっては魚類の生息域の範囲によっては魚類の生息域の減少のみならず、索餌・回遊・産卵などを阻害する障壁が形成されることが考えられる。

3-3 事例調査

(1) 影響範囲の検討

現状の放流地点（又は計画）と維持保護を検討する漁場との距離関係を把握し、新田式等によって、影響の有無を検討する。

(2) 事例：稚クルマエビ放流地点、海苔養殖場への影響（香川県小田浦漁港）

・処理施設のプロフィール

名称：小田浦地区漁業集落排水処理施設

処理能力：314m³/日（日最大汚水量）

処理方法：回分式活性汚泥法+凝集加圧浮上法

計画水質：BOD 10 mg/ℓ、SS 15 mg/ℓ、COD 15 mg/ℓ、T-N 10 mg/ℓ、T-P 1 mg/ℓ

・クルマエビ放流への影響

処理水の消毒には固形塩素剤を使用し、塩素剤と処理水の接触後の残留塩素は 0.1 mg/ℓ 以下とする。新田式によれば 100 倍希釈（0.001 mg/ℓ）となる範囲は約 30m であり、クルマエビ中間育成施設は処理水の排水口から約 200m 以上は離れているため、影響を与える可能性は低いものと考えられる。



図-1 クルマエビ放流地点と漁業集落排水施設との位置関係（矢印の短い順から 30m、100m、200m）

・ のり養殖への影響

のり養殖場は図-2のように小田浦漁港の沖合1 km以上に位置しており、塩素処理水の影響は無いものと考えられる。

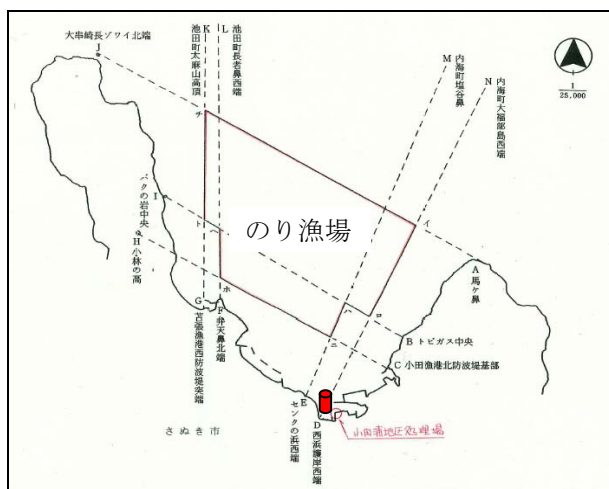


図-2 処理施設とのり漁場との位置関係

3-4 対策工

(1) 前提条件

残留塩素量が極微量であっても、なお環境影響を懸念する場合は、対策工を検討する。

しかしながら、多くの漁業集落排水施設の場合、維持管理費は下水道料金で完全に賄うことができず、一般財源から補填しているのが現状であり、さらには漁業集落の人口は全体的に減少傾向にあるため、紫外線殺菌装置や薬品注入装置の導入については、初期投資や維持管理費が増大する。まずは既存施設の残留塩素濃度及び保護すべき漁場との距離等を十分に把握し、影響度に応じた対策工を検討する

(2) 処理施設での対応

塩素は処理水中の有機物やアンモニア性窒素及び有機性窒素等によって消費されるため、消毒に必要な塩素注入率が高くなる。

また、酸性側の方が消毒力の強い次亜塩素酸の存在比が高く、処理水（2次処理水）に対する消毒効果が強い。アンモニア性窒素が存在する場合に生成するクロラミンについては消毒力が強いジクロラミンの存在比はpHが低い方が大きい。

これらのことから、クロラミンがアンモニア性窒素等と塩素に由来するのであれば、それぞれの濃度の削減を図ることが必要な対策という。

アンモニア性窒素等はし尿に由来し、発生源での削減が期待できない。このためにはアンモニア性窒素等を硝化、脱窒といった2段階の処理工程を経て、最終的に窒素ガスとして大気中に放散させることでクロラミンの発生リスクを抑制する。

また、塩素については、注入された塩素と処理水を十分に接触させ、効率的に大腸菌の消毒に用いられる必要がある。観光地や都市部に位置する一部の地区では、最盛期に外部から

多くの人口が流入する。処理施設の能力はこの流入分を加算して決定される。

このような地区では、閑散期の流入水量の減少傾向に合わせて、塩素添加量を調整する必要がある。いずれにしても、残留塩素濃度と大腸菌群数との関係を日頃から十分に監視し、塩素添加量を適正化し、過剰に塩素を注入しないことが肝要である。

(3) 放流方式の検討

①放流地点の変更

放流地点を変更して、処理水による影響半径と漁場範囲との接触を避ける。また、年間の漁獲時期において、放流地点をバイパス管によって、シフトさせる方式である。四国地方の農業集落排水施設では渇水期となる夏季にバルブによるバイパス管によって、ため池に送水することが行われている。

②分散放流

処理水の放流を複数に分散し、放流域への影響を緩和する方式である。放流地点を分散することで、影響半径を縮小し、漁場範囲との接触を回避する。

③ 希釈放流

陸上部で海水との混合池を築造し、清浄な海水を混合し、希釈する方式である。今混合池を修景施設として利用する事例がある。

一方、丸山らは塩素と海水中の臭素が反応し、クロラミン等は別の毒性物質が生成されることを示唆しているが、その生成条件については不明であり、今後調査の必要がある。



写真 - 1 修景を兼ねた希釈放流施設

④海底放流

処理水は淡水であるため、表層部を移動し易く、風況等の影響を受けやすく、思わぬ方向に影響を及ぼしかねない。海底放流することで、十分な海水混合、希釈を図る。

次亜塩素酸は海水に含まれる Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 H_2S などの無機物塩素消費物質によって消費されるため、影響リスクを低減できる。漁業集落排水施設においても類似施設はあるが、それらの拡散理論や効果等はわかっていない。

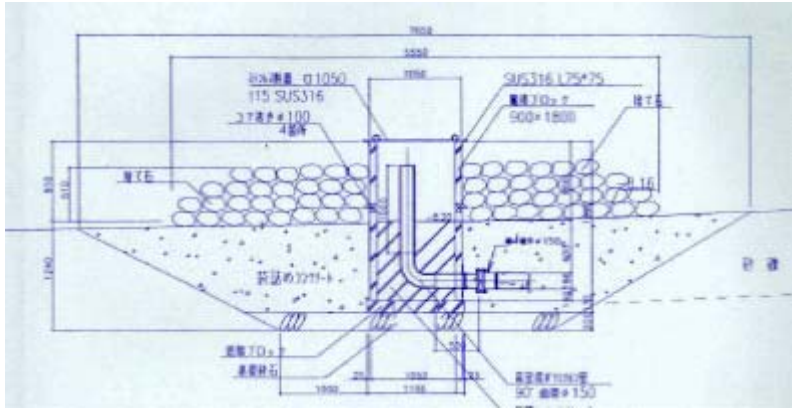


図-3 海底放流の事例

⑤地下浸透方式

処理水配管を多孔管（PVC 性）によって、地下浸透させる方式で、我が国では山岳地の浄化槽に設置例が多い。設置面積が大きいので、広い敷地が必要とし、かつ透水性の良好な地盤であることが必要である。また、長時間使用すると、多孔管に目詰まりが生じるので、清掃が必要である。漁業集落排水施設では離島地域で採用の事例がある。

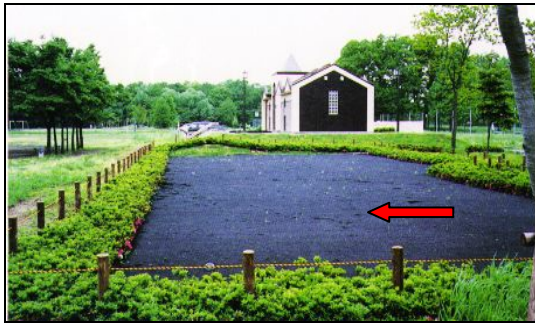


写真-2 土壌浸透方式

(4) 代替方式

①紫外線殺菌装置

紫外線は細胞内の核酸の損傷を起こして微生物を不活化する。紫外線によって不活化された細菌は太陽光などに含まれる可視光があたると、酵素の働きで一部の細菌が再び活性を取り戻す現象が見られ、光回復現象と呼ばれている。紫外線消毒では紫外線照射強度と照射時間との積(紫外線照射量)が大きいほどその消毒効果大きい。

紫外線殺菌装置は栽培漁業や水産試験場で、採用事例が多く、最近では漁港の衛生管理の清浄海水供給施設の殺菌装置としても採用事例が多く、漁業集落排水施設で塩素消毒の代替技術として最も一般的である。価格のうえでは処理対象人員 500～1,500 人で 10,000 千円程度、1,500～2,500 人程度で 15,000 千円程度である。

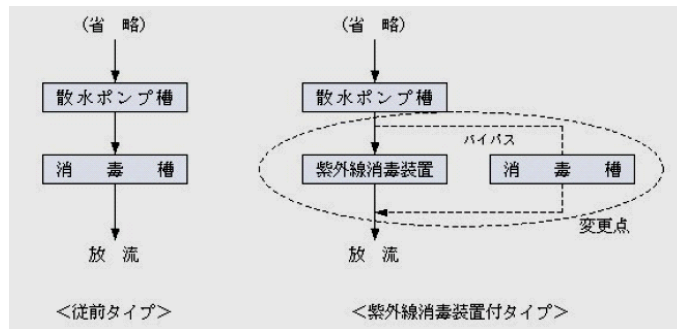


図-4 紫外線消毒の処理フロー

4 摘要

4-1. まとめ

- ①一部の漁業関係者は処理水中の残留塩素による漁業資源へのリスクを懸念している。
- ②保護対象は魚類や藻類等の漁業資源の他、サンゴや藻場等であった。
- ③その他のリスクは、病原菌細菌、ノロウイルスによる生牡蠣汚染である。
- ④ノリの色落ちは海水中の窒素量と大きな相関関係があると考えられている。
- ⑤処理水の残留塩素濃度を 0.1 mg/l とし、水産生物へ影響を与える閾値を 0.001 mg/l^1 (100倍希釈) として、香川県下の既存の排水処理施設に対して新田式等を活用した影響半径を算出した結果、既存の漁業関連施設(中間育成)への影響度は考えられなかった。また、海域の流動を考慮した3倍の影響半径を考慮しても影響範囲は到達しなかった。
- ⑥ノリ漁場はさらに沖合に位置しており、処理水の影響は考えられない。

4-2 問題点

本調査の結果から次のような問題点が生じた。

- ①残留塩素による水産生物への魚毒性、忌避等に関するデータの不足
- ②水産生物に安全な残留塩素濃度の検討の精緻化
- ③放流方式の違い(表層、海底)による残留塩素の挙動等の解明
- ④結合残留塩素の発生を抑制する観点から処理水中のアンモニア濃度、残留塩素の結合、遊離の比率等の実態
- ⑤これらを反映した環境に配慮した漁業集落排水施設の計画フローの作成