

# 漁業集落排水施設に係る環境配慮型の計画策定手法

## Technique for Making Environment-conscious Improvement Plan for Wastewater Treatment Facilities in Fishery Settlement

大賀 之総\*  
Yukifusa Oga

\* (財) 漁港漁場漁村技術研究所 第2 調査研究部 主任研究員

Residents in fishery settlement recognize the necessity of wastewater treatment, and at the same time, they are anxious about the effect of treated water discharged from wastewater treatment facilities on the fishery. For example, some of residents in an area having many laver farms pointed up the color fading of laver due to residual chlorine in sewage treated water.

In this study, the safety concentration standard of residual chlorine for aquatic life was decided based on literature searches. Moreover, using the dilution/diffusion formula (Nitta formula), the respective radius of influence of the effluent was calculated to determine the existence of the effect of residual chlorine. As the result, it was cleared that most of the fishing grounds are located outside the radius of the influence.

Assuming that there are cases where the effluent point of treated water discharged from wastewater treatment facilities is limited and its effect on fishing ground should be considered, dilution/diffusion technique of residual chlorine and alternative technology for chlorine were also examined.

The technique for making the improvement plan, under which the consensus on improvement of wastewater treatment in fishery settlement with residents is promoted, can be evaluated to be able to contribute to upgrading of water environment of fishery settlement.

*Key words: Color fading of laver, Residual chlorine, Environment-conscious*

### 1. まえがき

平成 20 年度末で漁業集落の汚水処理普及率は 51% に達したが、都市や農村に比べても依然、低い比率となっている。このため、漁村リフレッシュ運動や実際の事業計画時の住民説明会を通じて、漁業集落排水処理の重要性を啓発普及しているところである。

しかし、集落住民のなかには、汚水処理の必要性を認識しつつも、処理施設の処理水の漁業への影響を懸念する方々もいる。ノリ漁場の多い瀬戸内海や伊勢湾等では処理水が色落ちの原因ではないかと疑念を呈するものもいる。

一方、他省庁においては「生態系にやさしい下水道の整備手法」(国交省)、「水生生物の保全に係る水質環境基準の設定について」(中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準専門委員会)等環境に配慮した施策を推進している。

このようなことから、処理水の残留塩素が水産生物に与える影響を明らかにするとともに、環境配慮型の計画手法を提案する。

### 2. 研究内容

以下の項目について研究を行った。

- (1) 保護対象とする処理施設放流先周辺の養殖施設、その魚種等利用の実態を調査する。
- (2) 処理水中の残留塩素による水産生物への影響度に関する既存文献等を収集整理した。
- (3) 水産生物への残留塩素に関する影響を検討するための目標濃度を検討した。
- (4) 残留塩素安全性評価
- (5) 環境配慮型の計画手法を考慮した設計事例を紹介した。
- (6) 既存排水処理施設の処理水の放流施設を活用して、放流地点までの残留塩素濃度の減衰効果を調査した。
- (7) 環境配慮型の計画手法に関するフローを提案した。

### 3. 処理水の放流先の漁場の状況

平成 19 年度に全国の漁業関係者と市町村場関係者にアンケート調査を行ったところ、漁業集落排水施設の

計画に際して、「水産生物」への影響に関する申し入れを行い、処理水の消毒方法を塩素消毒から紫外線消毒に変更するなど、何らかの配慮を検討した地区が多くあり、漁業関係者が処理水の影響を懸念していることが分かった。さらに、その理由を調査したところ、水質では「塩素」「ノロウイルス」などの名前が多く挙がっていた。地域によっては昨今の海苔の色落ちに関する原因として下水処理水中の残留塩素を上げるものも多い。本アンケート調査において処理水の放流地点とノリ養殖施設が近接する地区は、全国で12地区であった。これらの各地区の処理水放流地点と漁場との距離関係の傾向には地域性が見られた。三陸・宮城県地域及び瀬戸内四国側では処理施設の規模は小規模だが、ノリ漁場までは比較的近い。一方、有明地方では処理施設の規模は中規模(1,000人以上)で、漁場までは距離があった。後者は放流地点周辺が干潟地域になっている。

なお、平成20年度に実施したアンケート調査によると処理施設の放流先における水産施設への利用は①海面養殖②蓄養施設③定置網④その他に区分された。魚種別に整理すると、次のとおりであった

- ①海面養殖：藻類(リ・ワカメ・ホンダワラ・コンブ)、魚類(ワグ・クロイ)
- ②蓄養：ブリ(ヒラマシ・カンパチ)
- ③定置：サ・マス・トビウオ・マアジ・サバ・キジハタ・メジナ・ブリ・アジ・タイ・イ
- ④中間育成：クルマエビ
- ⑤磯根：藻類(テングサ)、軟体(ササエ・タコ・アヒ)

## 4. 塩素処理水による水生生物への影響に関する既往の研究

### 4.1 残留塩素

水産生物の保護を目的とした残留塩素濃度塩素の水産生物に対する影響については膨大な研究例がある。排水処理などの連続排水域の水産生物を保護するための基準についてUSEPAが1,976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。

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生じることが示唆されている。これより低い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) の総説では淡水生物と海水生物についておのおの109件、68件もの毒性試験例を集め、濃度と暴露時間を両対数グラフに記入して影響を与えない濃度・時間を求めている。図-1、-2は

その結線を示している。その結果、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はカリフォルニア州沿岸の水質標準を検討するために10種類の物質の毒性試験値を集め、解析した。塩素については、24~96時間のLC<sub>50</sub>データを集め、その百万位数の低い方から10%に位置する濃度を急性毒性の内輪の見積りとし、これにAF(application estimate)を0.1として掛けたものを水質標準とした。

その結果から、海域での全残留塩素濃度 TRC 0.002 mg/lを水質標準として提案している<sup>1)</sup>。

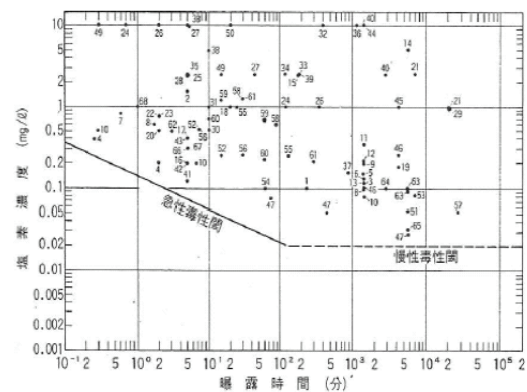


図-1 淡水生物に対する塩素の影響

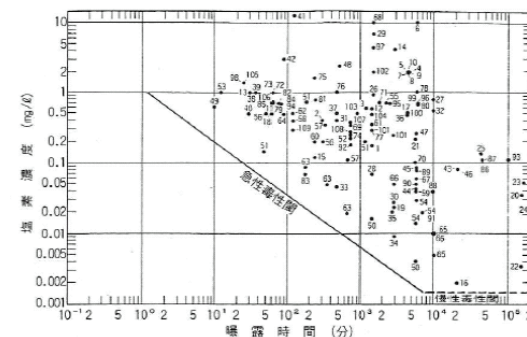


図-2 海水生物に対する塩素の毒性

### 4.2 塩素化合物

塩素処理に伴って多くの塩素化合物が生成し、そのなかには強い毒性をもつものがあることが知られている。塩素処理により生成した化合物は0.001 mg/lという低濃度でコイの孵化率を低下させることが報告されている<sup>1)</sup>。

### 4.3 魚の逃避行動

魚類は致死濃度以下の塩素に対して逃避する能力をもっている。低い残留塩素濃度で逃避行動を起こすものと考えられる。

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。

このような行動以外にニジマスが0.4~0.5 mg/lの塩素に接触すると、心拍数の低下、頻繁な鰓蓋の展開等が起こることが報告されている<sup>1)</sup>。

#### 4.4 植物への影響

日本では、ノリなど海藻類の増養殖場のある沿岸に放流する下水処理場があり、以前から塩素に対する関心もたれている。

しかし、養殖ノリ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<sup>1)</sup>。

例えば丸山は殺菌用塩素が微量で著しい生育阻害を与えることから、要因の複雑さを避けるために下水処理場の殺菌用塩素を含まない最終沈殿池越流水を検水としている<sup>2)</sup>。

### 5. 水質目標値の検討

以上「4.」の文献調査結果から、水産生物の生育に影響を与えないと考えられる残留塩素濃度の目標水質（以下、目標水質という）を検討した。この目標水質は、慢性毒性の観点から目標値を設定することとした。諸外国の研究によると、水産生物の生育等に影響を及ぼす慢性毒性を抑制するためには全残留塩素の濃度を0.002 mg/l以下とする必要がある。また、ノリの生育に及ぼす塩素消毒下水処理水の既往の研究文献<sup>2)</sup>ではノリの生育に強い阻害を与える化学物質はモノクロアミン  $\text{NH}_2\text{Cl}$  とされ、その環境目標値については、ノリ漁期が低水温期であること、ノリ漁場が河口域近傍に展開されていて、 $\text{NH}_2\text{Cl}$  の半減期が長いことを勘案し、急性毒性値である48h-LC<sub>50</sub>値0.011 mg/lに安全係数10分の1を適用して、 $\text{NH}_2\text{Cl}$  0.001 mg/lが妥当であるとしている。

また、ノリに影響を及ぼす化学物質はモノクロアミン $\text{NH}_2\text{Cl}$ であるとしているが、文献に全残留塩素の80%がモノクロアミンであったことが述べられているため、本研究においても全残留塩素による影響検討に用いる目標値として差し支えないものとする。

このようなことから環境目標水質は、全残留塩素濃度0.001 mg/lを目標値とする。

### 6. 放流過程での残留塩素の減衰効果

処理水は通常、処理施設から放流管や排水路を経て、

海域に放流される。この放流管は地中埋設されている場合がほとんどであるが、W県T市H地区の処理施設では開水路による放流方式であったため、この施設を利用して、排水処理施設の消毒槽から開水路を経て水域に至る間の留塩素濃度の消長過程をDPD比色法（写真-1）にて調査した。ちなみに本施設は、流路延長は約80m、水深は30 cmの薄層流である。（写真-2）処理水槽は地上式であるため、処理水の出口は地上部にある。本開水路の流入部にはカスケード（小規模な落差工）が設置されている。残留塩素は処理施設の出口からカスケード入口に落下するが、この時点で既に残留塩素は検出されていない。またその下流についても15 m間隔で測定をした結果でも残留塩素は検出されなかった。



写真-1 DPD比色法による残留塩素測定



写真-2 修景施設を兼ねた放流水路

漁業集落排水施設の処理水槽は地上式構造が多く、自然流下による放流方式が多い。

自然流下方式の場合は、放流管内で十分な空間があり、流下の過程で管路内での気液接触効果やマンホール内での落差工での再ばつ気効果で残留塩素濃度は揮散、希薄化してゆくものと考えられる。

### 7. 残留塩素によるノリ漁場の安全性評価

19年度、20年度に調査した施設において計画汚水量、処理水放流地点から漁場までの距離と新田式から影響半径r、及び潮流による水塊の移動を考慮した3rにより安全性を評価した。



このとき、漁場における目標水質は「5.」より0.001 mg/ℓとした。その結果、現況ではほとんどの施設で3rの影響半径外にノリ漁場が位置していた。（1施設影響範囲内にあったが残留塩素を発生しない紫外線消毒を使用していた）

処理水の残留塩素濃度は0.1 mg/ℓとした。この数値の根拠はし尿浄化槽の構造・基準解説において処理水中の濃度を0.1 mg/ℓ以上に維持することで大腸菌群数の水質基準以下にすることが記述されていることに起因する。また、「6.」より、処理水の残留塩素濃度は0.1 mg/ℓより小さいと考えられることから、既存施設の影響評価においては海域に直接放流される残留塩素濃度を測定したうえで影響を評価することが必要である。

## 8. 環境配慮型設計事例

処理水の残留塩素を低減できうる施設として、次の3例を示す。

- ① 希釈拡散方式（開水路薄層流）
- ② 希釈拡散方式（海底放流）
- ③ 塩素代替方式（紫外線消毒）

これらの設計事例は漁場が処理水の放流地点と漁場が近接する場合において検討に値する施設として考えられる。

### 8.1 開水路薄層流方式

本方式は処理水を薄層流型の水路に流下させるもので、処理施設の排出口から高さを利用したカスケード（落差工）を設け、水路に落下した際の酸素の溶け込み効果を期待する。

水路は水深を浅く取り、水路幅を広くし大気との気液接触効果を期待する薄層流とする河川浄化的な効果を狙ったものである。

本施設は処理水の放流工の機能を有しているほか、地区住民の交流の場となるように修景施設として仕上げられている。計画規模は処理対象人口2,530人、計画汚水量684m<sup>3</sup>/日、オキデーショディッチ方式の処理水中の残留塩素対策として設置したもので、流路延長は約800mである。総費用は約30,000千円である。

（ただし、放流先の塩分濃度低下を抑制するための海水取水井戸を含む）

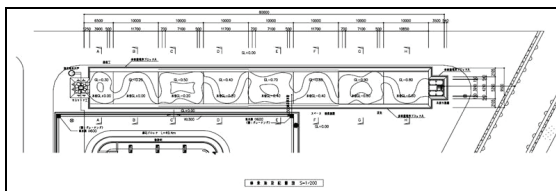


図-3 開水路薄層流方式

### 8.2 海底放流管方式

本施設は瀬戸内海に位置する施設で、ノリ養殖をはじめとする水産生物への環境配慮として設置された漁業集落排水処理施設の海底放流管で、延長距離250m、水深約9.0mである。（管種：高密度ポリエチレン管、口径φ150）処理施設の能力は処理対象人口1,810人、計画汚水量434m<sup>3</sup>/日で窒素・リンを除去できる高度処理型を採用している。

概算事業費は30,000千円程度である。（ただし、汚濁防止フェンス等仮設工は除く）

海底放流とすることで、比重の軽い処理水（淡水）は上昇流となる。海域の流況も影響して、表層への放流に比べて、より効果的な希釈拡散が期待できる方式である。

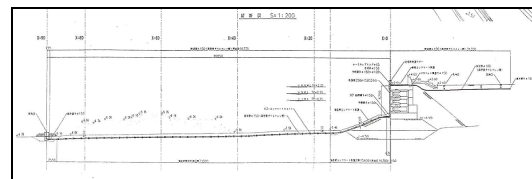


図-4 海底放流管による希釈拡散方式

### 8.3 紫外線殺菌方式

#### ① 紫外線殺菌のしくみ

紫外線消毒は細胞内の核酸の損傷を起こして微生物を不活化する方式である。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が大きい。紫外線照射量と大腸菌対数生残比との関係を図-7に示す。大腸菌群殺菌率90%、99%、99.9%（対数生残比-1log、-2log、-3log）を達成する紫外線照射量は15~20mW・s/cm<sup>2</sup>、20~30mW・s/cm<sup>2</sup>、30~50mW・s/cm<sup>2</sup>である。

通常の下処理水の消毒で紫外線照射直後における大腸菌群の平均殺菌率を99.9%（対数生残比-3log）程度とすることができるような紫外線消毒設備を設置すると光回復を考慮しても大腸菌群殺菌率でみて現状の塩素消毒設備と同等の消毒性能となることから、放流水中の大腸菌群数を安定的に3,000個/ml以下とすることができる。

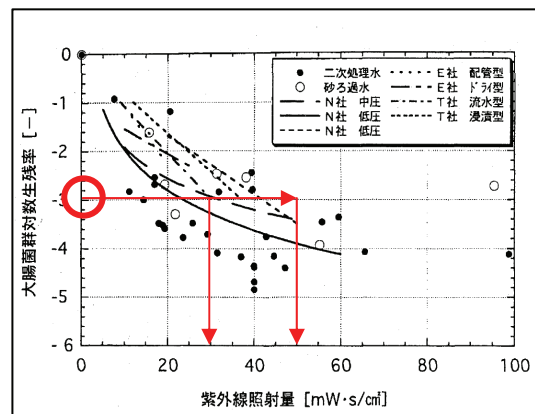


図-5 紫外線照射量と大腸菌群数生残比の関係

## ②紫外線消毒設備

消毒設備の設置方法としては、次の3タイプがある。

密閉型：紫外線ランプを保護管に入れて下水処理水が満水状態で流れる管内に設置する。

開水路型：自由水面をもつ流路内に浸漬させて設置する。

外照型：管内に下水処理水を流して管の外側から紫外線を照射する。

低圧水銀ランプを開水路型で設置する場合においては、放流水路の通常的设计流速（0.6～1.0m/秒）に対して紫外線装置内流速は0.2～0.4m/秒と想定される。したがって、紫外線装置設置場所の流下断面積は通常の放流水路の2～5倍程度が必要となる。

紫外線消毒では紫外線ランプを水路や管路内に設置した後、維持管理上は一般に常時点灯することが望ましい。

また、放流水路の時間変動に対してランプの一部が空中に露出されないように、かつ水位がランプ上端より大幅に上昇しないようにする必要がある。水位変動の調整方法としては堰、フラップゲートや下水処理水が満水状態で流れる管内に紫外線ランプを設置する密閉型等がある。

## ③製作価格

紫外線を設置する場合の製作価格を表-1に示す。

表-1 紫外線照射装置の製作価格

処理対象人数 (人)	計画汚水量 (m <sup>3</sup> /日)	標準価格 (千円)	塩害仕様 (千円)	維持管理費 (千円/年)
500	135	8,120	8,312	150
1,000	270	9,600	9,800	186
1,500	405	10,880	11,080	186
2,000	540	13,140	13,340	258
2,500	675	15,470	15,670	258
3,000	810	17,560	17,760	337
3,500	934	19,720	19,920	337
4,000	1,080	21,880	22,080	337
4,500	1,215	24,210	24,410	408
5,000	1,350	26,000	26,200	408

## 9. 環境配慮型計画フロー

### 9.1 残留塩素に関する留意事項

本研究より以下のことが明らかになった。

- (1) アンケート調査結果によって、処理水放流地点にノリ漁場がある地区を抽出し、残留塩素濃度 0.1 mg/l を拡散式によって、影響半径 r を算出し、1/100 の希釈率を得られる否かの検討を行った結

果、どの地区も影響範囲外にあった。

- (2) 処理水の放流地点の水塊が実際には移動することを考慮した影響半径 3r による評価では 1 地区が影響範囲内にあったが、この地区は計画汚水量に達しておらず、残留塩素の影響は現状無いものと考えられる。
- (3) 消毒槽直後の放流水には 0.1～0.2 mg/l 程度の残留塩素が含まれているが、処理施設から放流配管、マンホール等を介した流下の過程で残留塩素濃度は減少する傾向にある。

### 9.2 フローの提案

以上の結果を踏まえ、漁業集落排水施設の環境配慮型計画フロー（概略）を以下のように提案する。

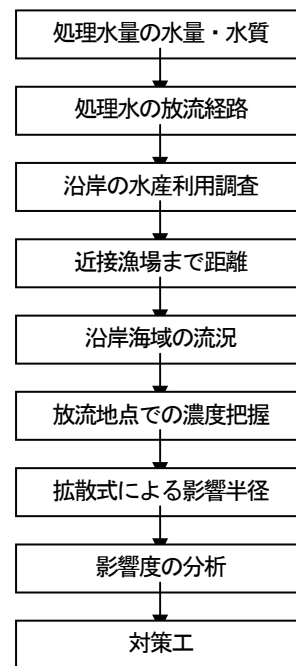


図-6 環境配慮型計画フロー

## 10. まとめ

- (1) 本報告は漁業集落環境整備事業を推進するうえで、漁業関係者への有効な提供資料になりうると考えられる。
- (2) 環境配慮型計画フローを用いて、分析した残留塩素の影響度を用いることにより、客観的なデータに基づき、地区住民との意見交換が可能になることから、事業の説明内容の向上が図られる。
- (3) 脱塩素技術や塩素代替技術の採用にあたっては投資コストが割高になるので、本計画手法により十分な放流地点の検討を行ったうえで導入検討を図ることが有効である。

## 11. 摘要

漁業集落排水施設はトイレの水洗化などの地区住民の保健衛生効果の向上のほか、周辺海域の水質の向上といった役割を担っている。漁業集落排水の水質は基本的に有機系のもので、残留塩素は唯一、処理系に人為的に加えられる化学物質であり、その点ではトリハロメタン等の影響なども取りざたされたこともある。

これらの物質は非常に微量で、さらには漁業集落排水施設自体も都市下水道施設の処理水量と比べればかなり少量であり、影響は少ないと考えられるが、陸域の汚濁負荷削減と沿岸域の水産生物保護を一体的に捉えることは漁業集落環境整備事業の合意形成に一層の寄与をもたらすものとする。

## 12. 参考文献

- 1) 塩素処理排水の水生生物に与える影響, 藤田直二 用水と排水 Vol. 30 No6 (1988)
- 2) ノリの生育に及ぼす塩素消毒下水処理水と粘土粒子の影響 水文大循環と地域水代謝 丹保憲仁・丸山俊明編 技報堂