

河川における残留塩素の低減過程 に関する現地観測

FIELD INVESTIGATION ON REDUCTION PROCESSES OF
RESIDUAL CHLORINE IN A RIVER CHANNEL

田代 喬¹・小川隆文²・辻本哲郎³

Takashi TASHIRO, Takafumi OGAWA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名古屋大学大学院准教授 環境学研究科都市環境学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²非会員 工修 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部九州新幹線建設局工事第二課
(〒812-8622 福岡市博多区祇園町2-1 (シティ17ビル))

³フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻

Recently in Japan, with the increase of sewage treatment facilities, the treated water discharged to public waters has been also increased. Residual chlorine contained in the treated water has been found to be chronically toxic to aquatic organisms. This paper is intended to clarify the cause of reduction and the behavior of the residual chlorine in river channels. In order to observe a continuous change in the flux of there residual chlorine, we conducted the field survey with water samplings and measurements in the channel with discharged the treated water. According to these results, it has been examined that the residual chlorine in river water has been strongly related to the treated influent water and has been significantly reduced in the daytime due to its solar radiation, and these reduction processes could have been described as the conventional kinetic modellings.

Key Words : Residual chlorine, treated water, continuous monitoring, kinetic modelling

1. はじめに

残留塩素は水中に含まれるカルキ臭の原因物質で、水処理過程における塩素消毒により発生する。残留塩素(全残留塩素)を構成するのは、遊離残留塩素と結合残留塩素であり、前者は次亜塩素酸(HClO)と次亜塩素酸イオン(CLO⁻)、後者はアンモニア態窒素、アミノ酸類、アミン類などと結合した状態で水中に存在する。水系伝染病の病原菌駆除に非常に有効であることから、水道法施行規則においては給水栓における遊離残留塩素濃度を0.1mg/L(結合残留塩素の場合は、0.4mg/L)以上保持するよう義務付けられている。また、下水処理過程においても放流先水域における衛生的な安全性を高める目的で多用されてきた。上下水処理における塩素消毒措置は、安価かつ容易に安全性を高めることに貢献してきた反面、観賞魚などの飼育に水道水を直接使用できないことから明らかのように、水生生物に対する甚大な影響を与える可能性を内包している。

残留塩素の水生生物に及ぼす影響については、これまで多数の事例が報告されている。その極端な例の「へい死事故」については、浄水場や工場から、あるいは、プールなどの水交換の際、事故により塩素消毒剤が流出したことに起因しており、前記した上水の基準値程度の遊離残留塩素濃度(0.1~0.2 mg/L)でも生じている¹⁾。米国では、1976年にEPA(Environmental Protection Agency)により、水生生物を保護するための排水域の全残留塩素濃度の基準として、淡水域では0.01 mg/L(暖水性種)および0.002 mg/L(冷水性種)が設定された^{2),3)}。かつては国内の事例は少なかったが、藤田³⁾が海外における事例をレビューして塩素処理排水により水生生物が受ける影響の重大性を示して以降、我が国でも調査研究が進められてきた⁴⁾⁻⁹⁾。淡水魚を対象とした毒性試験^{4),5)}、下水処理排水を受容する河川における底生動物^{6),7)}や附着藻類⁷⁾⁻⁹⁾への影響調査などが挙げられる。特に、アユ*Plecoglossus altivelis*の24時間の曝露試験時における半数致死遊離残留塩素濃度LC₅₀は、他の魚種よりも小さい0.07 mg/Lとする結果が得られた⁴⁾。実河川における調査

事例については、公共下水道の処理排水を大量に受容する区間を対象としたものがほとんどであるが、残留塩素濃度は季節的に大きく変動すること、窒素、リンなどの栄養塩濃度が高いことなどにより、残留塩素による直接的影響までは明らかになっていない。一方、青井⁴⁾は中山間地域などにあつて見た目には清冽な河川においても、浄化槽が整備された集落からの排水により、高濃度の残留塩素が含まれる可能性を指摘している。陳ら¹⁰⁾は、浄化槽による下水処理地域が広く存在する櫛田川流域（三重県松阪市・多気町）において、一時期ながら河川水中の遊離残留塩素濃度の空間分布を調べ、青井⁴⁾の指摘を部分的に支持する結果を得た。ただし、浄化槽の普及地域から排出される処理水については、各家庭の水利用状況などに応じて時間的に変動することから¹¹⁾、河川水中の残留塩素の流下動態の解明が必要と考えられる。

ところで、残留塩素の低減過程については、海外においては比較的多数の解析モデルが開発され、近年では河川に適用可能なレベルに進展されているのに対し¹²⁾⁻¹⁶⁾、我が国においては上水配水過程に限定した取り組みとなっている¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。これら国内外の既往研究に共通するのは、遊離・結合残留塩素とも、それぞれの低減過程は運動学的な一次反応式によって表現できるというものである¹²⁾⁻¹⁹⁾。また、一般に残留塩素は揮発しやすく、攪拌によっても減少するものと認識され、それらの影響は海外でもモデル化されてきたのに対し^{14),15)}、国内ではいち早くその影響を外的要因と関連付けて実験的に記述した事例があるものの¹⁷⁾、水道管内においては無視し得るため、進展・活用されなかった。前記のように塩素処理排水による水生生物への影響が注視される中で、流域から排出され、河川に残留する塩素の挙動解明は喫緊の課題とも言えよう。

以上に鑑み、本研究では、合併浄化槽の整備率が高い集落からの排水が流入する河川区間を対象とし、連続的に残留塩素の観測を行って流下量の縦断的・経時的变化を調べることにより、河川における残留塩素の低減過程を明らかにすることを目的とした。なお、より毒性が高いとされている遊離残留塩素を対象とするものとした。

2. 材料と方法

三重県多気町を流れる櫛田川水系の佐奈川を対象とした。佐奈川は幹線流路延長12.2km、流域面積19.7km²を有し、流域の土地利用（平成9年度国土数値情報²⁰⁾）は、山地が50%、農用地が35%、市街地が6%であり、櫛田川流域全体に比べると山地の占める割合が小さく、低平地の占める割合が大きい²¹⁾。流域が位置する多気町における汚水処理人口普及率は89%で、そのうち25%を合併処理浄化槽が担うなど²²⁾、上中流域では浄化槽利用が一般

的となっている。

陳ら¹⁰⁾は、櫛田川流域において河川水中の残留塩素濃度を調査する中で、佐奈川下流部において比較的高濃度の残留塩素を検出した。本研究ではこの調査結果を参考に、櫛田川合流点から約2.5km上流に位置し、左岸に設置された樋門からの排水流入を伴う直線河道区間を調査地として選定した。当該区間は、沿川地域の圃場整備の進行に伴って設置された複数の排水樋門や取水堰を有する築堤河道となっている²¹⁾。

調査地では、2012年12月6日から7日にかけて、流入する排水を含めた水質等を対象とした連続観測を実施し、残留塩素の流下フラックスの変化を分析した。以下にその詳細を記す。

(1) 調査地の地形と流況

対象河道区間を含む約140mの縦断区間において、レーザーレベル（SOKKIA社製、LP30A）と巻尺によって計測された水位・河床高の分布を図-1に示す。図中には、河道内で採水した3地点（St.1、St.2、St.3）と排水合流点の位置を併記した。下流部で対象区間外の取水堰による背水の影響をやや受けるが、採水地点間は水面勾配約1/1000のほぼ等流状態を呈している。

採水地点における流量観測と地点間における流下時間の推定のため、一次元電磁流速計（ケネック社製、VE10）を用いて流速分布の測定を行った。流量観測に際しては、各地点を含む河道横断面において0.5m毎に水深と6割水深点の流速を測定し、これらを積算して流量を推定したところ、St.1では90 L/s、St.2、3では130 L/sとなった。これらから両者の差分である40 L/sを排水流入量と見なせることになる。また、各地点間の流心部における6割水深流速を計測し、地点間の距離を除すことで流下時間を求めた。なお、ここで推定された流下時間はトレーサー（浮子）の流下時間と良好に一致することを確認済である。

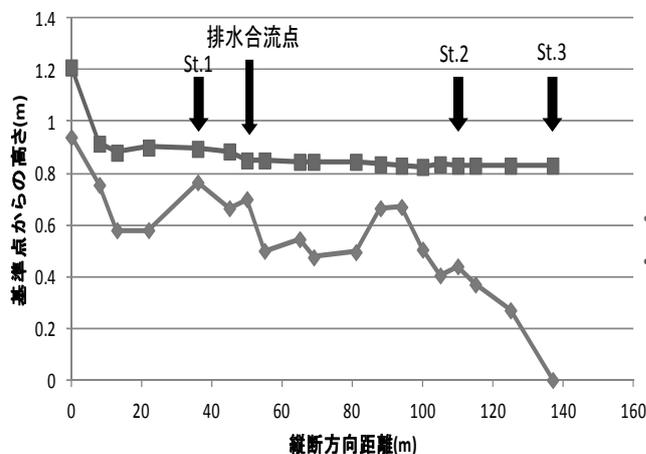


図-1 対象河道区間における水位・河床高の縦断分布

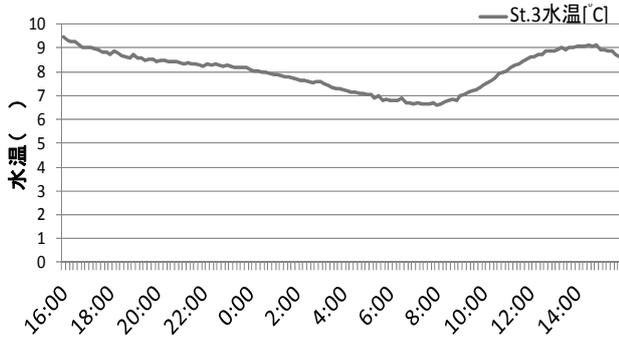


図-2 St. 3において観測された水温の時間変化

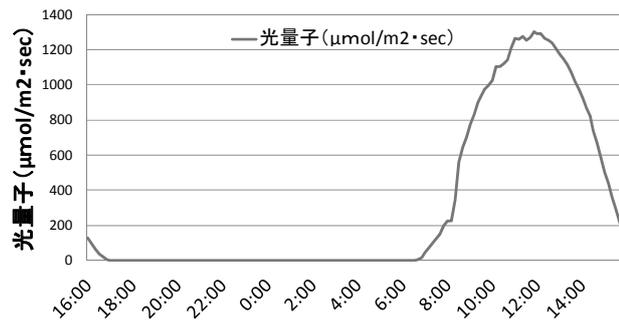


図-3 対象河道区間における光量子の時間変化

(2) 試料水の昼夜連続採取と水質分析

水質観測用試料水については、各地点（河道内3地点、排水路1地点）に設置した自動採水器（TELEDYNE ISCO社製、ISCO6712）により、12月6日16時から同7日14時まで、2時間ごとに合計12回採水を行った。この際、地点間における流下時間を考慮し、各地点の採水時間を調整した。採水期間終了後、全ての試料は密閉容器に収納して冷暗所に保存した状態で実験室に持ち帰り、速やかに残留塩素と全有機態炭素（TOC: Total Organic Carbon）の濃度を測定した。残留塩素は、デジタル残留塩素計（Hanna社製、ポータブル残留塩素計HI96711C）とDPD試薬（N,N-Diethyl-p-phenylenediamine Sulfate）を用いた吸光度法で測定した。この際、広瀬²³が指摘する計測結果の不安定性に配慮し、一試料につき5回計測し、最大/最小値を除いて得られる平均値と標準偏差（ $N=3$ ）により求めた。TOC濃度は、全有機態炭素計（島津製作所、TOC-V）を用いて測定した。

河道内の各地点では、自記式の小型メモリークロロフィル濁度計（JFEアドバンテック社製、COMPACT-CLW）を用いて濁度と水温を連続計測した。調査期間中に降雨は無く、濁度はほぼ一様であり、図-2には水温変化の一例を示す。また、河道内中央で上部に遮蔽物が無い1地点においては、採水期間と同じタイミングにおいて、自記式の小型メモリー光量子計（JFEアドバンテック社製、COMPACT-LW）を用いて、水面より約1mの高さにおける上向き光量子を連続観測した（図-3

参照）。

(3) 残留塩素流下フラックスの低減過程解析

前述の通り、残留塩素濃度の低減過程については、一次反応式で経験的に表現されることから^{12)~19)}、次式のように表される。

$$\ln \frac{F_t}{F_0} = -kt \quad (1)$$

ここで、 F_t は t 時間経過後の残留塩素の流下フラックス(mg/L)、 F_0 は初期の残留塩素の流下フラックス(mg/L)、 k は残留塩素の減少速度係数(t^{-1})、 t は経過時間である。つまり、 F_t/F_0 の変化量の比を自然対数にすると直線関係が得られ、その傾きが減少速度係数となる。ところで、対象河道区間においては流入排水が存在することから、合流直後のフラックスの算定に際しては完全混合を仮定し、川島・鈴木²⁴⁾に倣って、次式で表される単純な物質収支を前提とした。

$$C_0 = \frac{C_1 Q_1 + C' Q'}{Q_1 + Q'} \quad (2)$$

ここで、 C_0 は合流直後の物質濃度(mg/L)、 C_1 は合流前（St.1）での物質濃度(mg/L)、 Q_1 は合流前の河川流量(L/s)、 C' は排水中の物質濃度(mg/L)、 Q' は排水の流入流量(L/s)である。

また、先行研究においては、残留塩素の減少要因は、揮発や光の照射、攪拌、非酸化物との接触などがあるとされ^{13)~15),17)~19)}、上水道管中の水質による遊離残留塩素の低減過程については次式が考案されている¹⁹⁾。

$$k_b = 4.55 \times 10^4 \cdot \frac{[\text{TOC}]}{C_0} \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

ここで、 k_b ：水質による残留塩素の減少速度係数(t^{-1})、 $[\text{TOC}]$ ：TOC初期濃度(mg/L)、 C_0 ：残留塩素初期濃度(mg/L)、 E_a ：活性化エネルギー($3.9 \times 10^4 \text{ J/mol}$)、 R ：気体定数($8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$)、 T ：水温(K)である。

以上を踏まえ、今回の計測結果を用いて残留塩素の低減過程を考察するに当たり、式(1)において F_0 には排水流入直後の流下フラックス、 F_t にはSt. 2および3における流下フラックスを与え、それぞれの地点における排水合流点からの流下時間 t を当てはめることによって、減少速度係数 k を求めた。さらに式(3)においても、式(2)で推定される排水流入直後の残留塩素、TOCの初期濃度を適用することにより、水質による残留塩素の減少速度について考察した。この際、光条件による低減効果に着目した既往事例を参考に^{14),17)}、図-3の光量子の観測結果から昼夜を区別し、昼と夜の残留塩素の流下フラックスの変化を求めた。

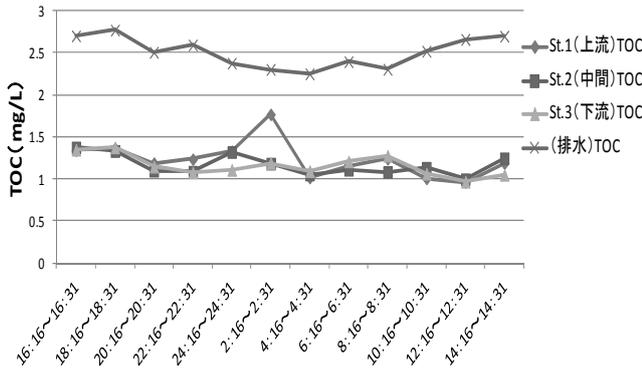


図-4 各地点における水中TOC濃度の時間変化

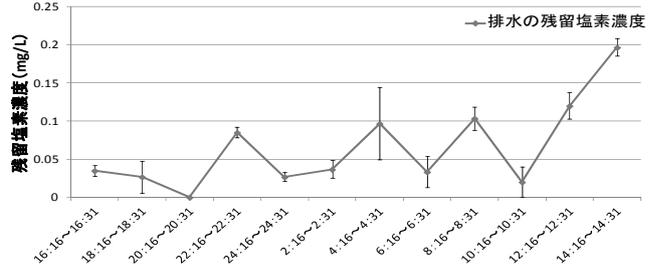


図-6 排水中の残留塩素濃度の時間変化

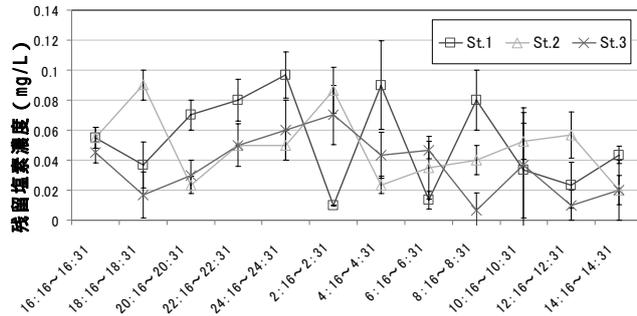


図-5 計測地点における河川水中の残留塩素濃度の時間変化

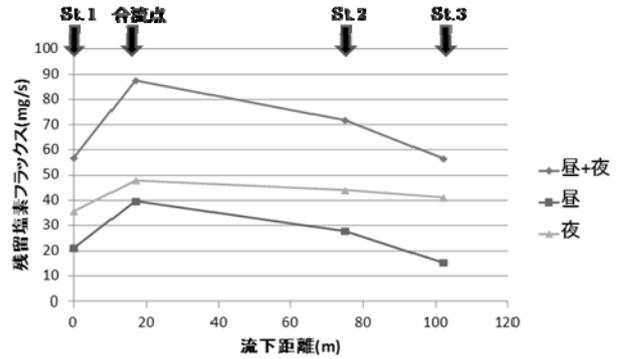


図-7 残留塩素の流下フラックスの変化

3. 結果と考察

(1) 昼夜連続採水した試料水の水質分析

各地点で採水した試料水についての分析結果として、TOC濃度の時間変化を図-4に、残留塩素濃度の時間変化を図-5および6に示す。なお、残留塩素濃度についてはプロットが平均値を、エラーバーが標準偏差を表す。

TOC濃度では排水中の値が顕著に大きいのに対し、3地点の河川水の濃度はほぼ同様に推移した。また、昼間の濃度の方が相対的に大きくなる傾向が見受けられた。一方、残留塩素濃度については、全地点のほぼ全時間帯において検出された。水生生物への影響度合いについては、アユのLC24値(0.07mg/L)⁴⁾については、河川水の36データ(3カ所×12時点)のうち7データ、EPAの暖水種(0.01mg/L)²⁾でみるとほぼ全データについて、基準値を超過しており、深刻な影響が及んでいるものと推察された。分布特性については、時間的な変動が大きく、一定の傾向を見出すことは困難であったが、地点間に排水流入が無いSt. 2とSt. 3の濃度には、18時台および8~12時台などで相対的な大小関係が見出せ(図-5参照)、流下による低減過程の影響が示唆された。また、7日14時に最大値(0.2 mg/L)を示すなど、排水中の濃度は河川水中の濃度と比べてやや大きいように見受けられた。これらの結果から、排水からの物質流入が河川の汚濁負荷

になっており、中でも昼間の負荷が大きくなっている可能性が示唆された。この結果は、対象河道である佐奈川の上中流域では浄化槽利用率が高いこと、また、浄化槽からの放流水質は各家庭の水利用状況などに応じて時間的に変動すること¹⁾によるものと考えられる。ただし、残留塩素濃度については、一般的な汚濁物質と異なり、流下過程による集積作用よりむしろ揮発等による低減作用が大きいため、より複雑な変動を示す可能性があることに注意を要する。

(2) 残留塩素流下フラックスの低減過程解析

観測期間を通じた残留塩素の流下フラックス、図-3の光量子データを参考に、昼夜を区別して得られる残留塩素の流下フラックスについて、それぞれ算定した結果を図-7に示す。ここで図中のx軸は、最上流のSt.1からの各地点までの流下距離を表す。図より排水合流によって残留塩素の流下フラックスが増大し、その後、低減する傾向が確認された。昼夜における低減状況については、昼の方が夜よりその作用が顕著に大きいことが示された。図-8ではさらに、残留塩素の流下フラックスの低減過程について、式(1)の一次反応式にしたがった形式により示す。図中にはそれぞれのケースに対し、最小自乗法により得られる近似式とその決定係数 R^2 値も併記した。

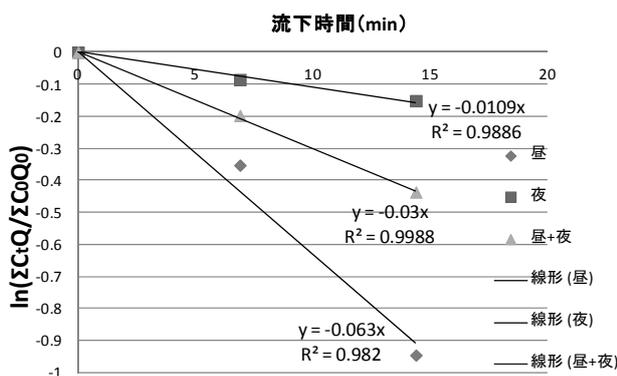


図-8 残留塩素の流下フラックスの低減過程

今回の観測によるデータ数は少ないながら、決定係数はいずれも0.98を上回っていることから、河川における残留塩素の低減過程は一次反応式により概ね表現できるものと考えられた。昼夜の違いについては、昼間の減少速度係数が $6.3 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ に対し、夜間のそれは $1.1 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ となり、昼間には夜間の6倍程度の減少速度を呈することが確認された。

水質による残留塩素の低減過程を考察するため、式(3)に観測値を代入して推算したところ、減少速度係数は $6.1 \times 10^{-4} \sim 4.4 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ となった。上水の配水過程における残留塩素濃度の主要な減少要因は水質にあったが、本調査における河川水のTOC濃度、水温の分布から推定される水質要因の残留塩素減少速度は、実河川におけるそれを評価するには至らなかった。このほか、既往研究により得られている減少速度係数は、実河川を対象とした観測で $3.4 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-1} \text{min}^{-1}$ (Milne *et al.*¹⁵⁾、浄水場原水を用いた実験では、暗室静置条件で $3.0 \sim 5.0 \times 10^{-5} \text{min}^{-1}$ 、光撹拌条件でも最大 $2.8 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ (中西¹⁷⁾)となっている。以上の結果から、河川における残留塩素の低減過程においては、水質による影響以外に、日射や開放面の存在による揮発、水流による撹拌が大きく寄与し、植物や付着藻類の生産活動や接触、河床との接触などの間接的作用が生じた結果として残留塩素が大きく低減したものと考えられる。また、本研究により得られた残留塩素の減少速度係数は、実河川における既往の計測実績¹⁵⁾と同程度の結果となったことから、今回の推定手法の妥当性が示されたものと言えよう。

4. おわりに

本研究の調査地である櫛田川水系佐奈川下流部においては、調査期間の全時間帯に亘って、ほぼ全地点で遊離残留塩素が検出された。その検出濃度範囲は、既往研究で示されたいくつかの基準値^{2,4)}を上回っていたことから、水生生物の生息に何らかの影響を及ぼしている可能性が

あるものと推察された。

また、ここで観測された残留塩素濃度と流量から、各地点における残留塩素の流下フラックスを算定したところ、その流下低減過程については一次反応式により良好に近似できることが確認された。この際、それぞれの残留塩素フラックスの(流下に伴う)減少速度係数を評価したところ、従来の実河川での観測結果と同程度になることが示された。

さらに、対象河道において調査期間中に連続観測した光量子計のデータから、昼夜を区別して残留塩素の低減過程を評価したところ、夜間より昼間の減少量が顕著に大きくなることを新たに明示することができた。これらの成果は、我が国で従来、進展されてきた上水配水過程における残留塩素の低減予測式と異なり、実河川における残留塩素の低減過程には、水質による影響以外に、日射や開放面の存在による揮発、水流による撹拌が大きく寄与し、植物や付着藻類の生産活動や接触、河床との接触などが間接的に作用した可能性を示唆するものである。

ただし、水中の残留塩素濃度の測定に当たっては、特に有機化合物を含む試料を対象とする場合、その手法による検出結果が一様でないことが指摘されている²³⁾。また、河川水中に含まれる残留塩素が水生生物(特に魚類)に及ぼす影響とその対策に関しては、生息場所適性など他の影響要因や費用対効果と合わせて検討する必要があると指摘されている^{3,25)}。本研究における計測値は、いずれも繰り返しを確保しながら、同一の手順、処理に則ったものであり、相対的な評価という点で十分に信頼できるものであるが、生活処理排水による影響を対象とするなど、周辺地域の日常生活と密接に関わるものであることから、さまざまな観点からの妥当性を確保した水環境の保全に繋がるように努めたい。

流域から河川に流入する塩素処理排水の問題は、どこにでも潜在的に存在している水環境の問題であるにもかかわらず、河川技術、水工学の分野からの貢献はこれまでほとんど無かった。本稿がそれに一石を投じるものになれば幸いである。

謝辞：本研究は、名古屋大学グローバルCOEプログラム「地球学から基礎・臨床環境学への展開」²⁶⁾において2011年度臨床環境学研修の一環として実施された研究課題「櫛田川のアユの持続的利用に関する研究」¹⁰⁾に着想を得た。特に、陳淑珮氏、林正能氏(ともに名古屋大学大学院環境学研究所博士課程後期課程)を始めとする参加者との議論は企画・設計に大いに寄与した。また、実施に際しては、土木学会重点研究課題「流域圏における放射性物質・化学物質の動態が生物環境に及ぼす影響(代表：横山勝英・首都大学東京准教授)」の補助を受けた。ここに記して関係各位に御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 例えば, 増元英人: 有害物質による魚のへい死事故と原因調査(4), 碧水, 第48号, 静岡県水産試験場, pp.5-6, 1999.
- 2) Zeitoun, I.H. and Reynolds, J.Z.: Power plant chlorination, Environ. Sci. Technol., Vol.12, No.7, pp.780-783, 1978.
- 3) 藤田直二: 塩素処理排水の水生生物に与える影響, 用水と排水, 第30巻, 第6号, pp.3-11, 1988.
- 4) 青井透: 淡水魚に対する残留塩素の連続通水による毒性試験, 第6回衛生工学シンポジウム論文集, pp.71-76, 1998.
- 5) 松田成弘, 信澤邦宏: 遊離残留塩素が魚類に及ぼす毒性について, 群馬県水産試験場研究報告, 第11号, pp.27-29, 2005.
- 6) 相澤治郎, 佐藤義秋, 伊藤歩, 北田久美子, 海田輝之, 大村達夫: 下水処理水が河川底生生物及び水環境に与える影響, 日本水処理生物学会誌, 第35巻, 第4号, pp.247-259, 1999.
- 7) Fukushima, S. and Kanada, S.: Effect Of Chlorine on Periphytic Algae and Macroinvertebrates in a Stream Receiving Treated Sewage as Maintenance Water, *Jpn. J. Limnol.*, Vol.60, pp.569-583, 1999.
- 8) 荒谷祐介, 中島英一郎, 竹歳健治, 南山瑞彦, 田島淳: 下水処理水中の栄養塩類濃度および残留塩素濃度と放流先に生成する付着藻類相の関係, 下水道協会誌, Vol.42, No.510, pp.111-123, 2005.
- 9) ゴーランム, 福嶋悟, 小堀洋美: 残留塩素が河川の付着藻類に及ぼす影響, 日本水処理生物学会誌, 第46巻, 第2号, pp.81-90, 2010.
- 10) 陳淑珮, 田代喬, 林正能, 藤井英紀: 河川水中の残留塩素濃度からみた櫛田川流域におけるアユ生息適性への影響, 日本環境共生学会第15回学術大会論文集, pp.106-112, 2012.
- 11) 汚水処理施設の効率的な整備・管理に関する有識者研究会: 汚水処理施設の効率的な整備・管理に関する有識者研究会報告書, 公益社団法人日本下水道協会, <http://www.jswa.jp/wp/wp-content/uploads/2011/03/16.pdf>, 2008. 2013年4月2日閲覧.
- 12) Gowda, T.P.H.: Prediction of Chlorine Residuals in Streams Receiving Sewage Effluent, Water Resources Paper No. 10, Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto, 1978.
- 13) Heinemann, T.J., Lee, G.F., Jones, R.A. and Newbry, B.W.: Summary of Studies on Modeling Persistence of Domestic Wastewater Chlorine in Colorado Front Range Rivers, In: Water Chlorination-Environmental Impact and Health Effects, Vol. 4, Book 1, Chemistry and Water Treatment, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, pp.97-112, 1983.
- 14) Reckhow, D.W., Ostendorf, D.W. and Billa, M.E. Fate and Transport of Combined Residual Chlorine in Small Stream, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.116, pp.1125-1142, 1990.
- 15) Milne, G.D., Stanley, S.J. And Smith, D.W.: Residual Chlorine Decay in a Broad Shallow River, *Wat. Res.*, Vol.27, No.6, pp.993-1001, 1993.
- 16) Gang, D.C., Clevenger, T.E. and Banerji, S.K.: Modeling Chlorine Decay in Surface Water, *Journal of Environmental Informatics*, Vol.1, No.1, pp.21-27, 2003.
- 17) 中西弘: 水道施設の塩素処理に関する研究, 水道協会雑誌, 第386号, pp.47-60, 1966.
- 18) 後藤圭司: 配水管路網における水質変化(), 水道協会雑誌, 第571号, pp.51-65, 1982.
- 19) 佐藤親房: 全有機炭素を考慮した残留塩素濃度予測モデルに関する研究, 首都大学東京博士論文, 2009.
- 20) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報土地利用3次メッシュデータ平成9年度, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-L03-a.html>, 2013年4月3日閲覧.
- 21) 国土交通省中部地方整備局: 櫛田川水系河川整備計画(大臣管理区間), <http://www.cbr.mlit.go.jp/mie/jigyoko/kasen/seikei/index.html>, 2005. 2013年4月3日閲覧.
- 22) 三重県県土整備部下水道室: みえの下水道 2011-2012, <http://www.pref.mie.lg.jp/GESUI/HP/date/pdf/2011-2012/all.pdf>, 2011. 2013年4月1日閲覧.
- 23) 広瀬義文: 残留塩素に関する基礎知識, 食品衛生学雑誌, Vol.49, No.3, J-236-J-241, 2008.
- 24) 川島博之, 鈴木基之: 河川における自浄作用と自濁作用, 東京大学生産研究, 第34巻, 第7号, pp.287-295, 1982.
- 25) Newbry, B.W., Lee, G.F., Jones, R.A. and Heinemann, T.J.: Studies on the Water Quality Hazard of Chlorine in Domestic Wastewater Treatment Plant Effluents, In: Water Chlorination-Environmental Impact and Health Effects, Vol. 4, Book 1, Chemistry and Water Treatment, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, pp.1423-1436, 1983.
- 26) 名古屋大学大学院環境学研究科, 名古屋大学大学院生命農学研究科: 名古屋大学グローバルCOEプログラム「地球学から基礎・臨床環境学への展開」, <http://w3serv.nagoya-u.ac.jp/envgcoe/index.php>, 2013年4月4日閲覧.

(2013.4.4受付)