

(影響が懸念される物質のモニタリングと定量的リスク評価手法の構築)

公共用水域における健康・生態リスクが懸念される化学物質の制御手法に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（水質）

研究担当者：南山瑞彦、北村友一、對馬育夫、
真野浩行、武田文彦、金子陽輔、
小森行也

【要旨】

下水処理場は、都市河川で検出される医薬品類の発生源の 1 つであり、河川水環境における医薬品類の効率的な削減対策やリスクの管理を行う上で、河川における医薬品類の量に対する下水処理場の寄与を明らかにすることは重要である。本年度では、多摩川中流域を対象に、河川に流入する負荷量および下水処理場の放流水が流入する地点における負荷量に対する下水処理場の寄与率を、野外調査に基づいて算出した減衰速度係数と調査地点での負荷量に基づいて算出することを試みた。

キーワード：医薬品類、下水処理場、減衰速度係数、都市河川、負荷量

1. はじめに

近年、生活で使用され、下水道を通して河川水中に流出する医薬品類や化粧品などの微量化学物質による河川水環境への影響が懸念されている。我が国の河川において、環境リスク初期評価により、一部の化学物質のリスクが示唆されている^{1,2)}。そのため、河川水環境において微量化学物質の効率的な削減対策やリスクの管理を検討する必要がある。このような背景のもと、本研究課題は、水生生物およびヒト健康への影響が懸念される化学物質のモニタリングと定量的リスク評価手法の構築を目的とする。本研究では、都市部の河川流域を対象に、モニタリングや文献調査による河川水中化学物質に対する下水道の寄与率を推定することにより、下水道における対象化学物質の管理可能性を把握する。また、河川水中の挙動を考慮したヒト健康および生態影響評価手法を構築し、下水道での化学物質の排出削減シナリオに沿った影響評価を実施する。

本年度は、都市河川に流入する負荷量や下水処理場の放流水が流入する地点での負荷量に対する下水処理場の寄与を把握することを検討した。多摩川中流域における下水処理場を対象に、水生生物への影響が懸念される医薬品類について、この流域に流入する医薬品類の負荷量および下水処理場が流入する地点での医薬品類の負荷量に対する下水処理場の寄与率を算出することを試みた。

2. 調査方法

2. 1 調査対象の医薬品類

本研究チームではこれまで、医薬品類等生理活性物質を対象として、水環境中における実態把握、生態リスクの検討などを進めてきた。本研究では、過年度の研究成果を基に、多摩川において水生生物に対する生態リスクの懸念が指摘されている医薬品類 5 物質³⁾を調査対象に選定した（表 1）。

2. 2 対象地域

本研究では、多摩川中流域を対象とした。多摩川は、山梨県、東京都、神奈川県を流れる多摩川水系の本川である（流域面積：1240 km²、流域人口：約 400 万人³⁾）。代表的な都市河川であり、高度成長期の急激な流域の都市化の影響を受けて水質が悪化したが、下水道整備や河川浄化施設の設置などに伴い改善が進み、近年では中流域（多摩川原橋）の水質は、BOD2mg/L 程

表 1 調査対象の医薬品類

物質名	主な効用
Azithromycin	マクロライド系抗生物質
Clarithromycin	マクロライド系抗生物質
Ketoprofen	消炎・鎮痛・解熱剤
Levofloxacin	フルオロキノロン系合成抗菌剤
Triclosan	殺菌剤

度で推移している(2001年以降の環境基準はB類型、BOD 3mg/L)。一方で、人口増加および下水道普及率の上昇に伴い、中流域においては渇水期に河川流量の5割以上を下水処理水が占めることもある。

2.3 寄与率の算出方法

本研究チームでこれまでに算出した医薬品類の減衰速度係数に基づき、多摩川中流域に設定した調査区間に流入する医薬品類の負荷量および下水処理場の放流水が流入する地点での医薬品類の負荷量に対する下水処理場の寄与率を算出することを試みた。

本研究における調査地点を図1に示す。本研究チームでは、これまでに多摩川中流域の約11kmの調査区間を設定し、2012年の1/31、2/16、8/22、2013年の1/30、9/30、12/17、2014年の12/16の合計7回、10地点(St.1~St.6、A処理場~D処理場)における河川水と下水処理放流水中の医薬品類の実態調査を実施するとともに、多摩川本川の2地点と支川の4地点において、「河川砂防技術基準(案)」に準じた流量観測を行ってきた。ただし、根川のSt.4では、2012年の1/31、2/16、8/22、2013年の1/30において流量観測を行わなかったため、東京都より入手した調査日と同じ月の流量データを採用した。また、東京都下水道局から調査日の下水処理場の放流量データを入手した。さらに、得

られたデータを基に、対象医薬品類が流下過程において、一次反応式に従って減少するという仮定の下で、花本ら⁴⁾の方法を参考に、以下の式から減衰速度係数 k を算出した。

調査区間の最下流地点での負荷量

$$= \sum \text{調査地点}i\text{の負荷量} \times e^{(-k \times \text{調査地点}i\text{から最下流地点 St.5 までの流下時間})} \quad (1)$$

式(1)中の調査地点 i の負荷量は調査地点ごとに医薬品類の濃度と調査日における一日当たりの流量の積から算出された。また、調査地点 i から最下流地点St.6までの流下時間はGoogle mapを用いて計測した流下距離を流量観測時に得られた平均流速で除して求めた。算出結果を図2に示す。Ketoprofenは他の医薬品に比べて、高い減衰速度係数を示した。本研究では、下水処理場の寄与率を算出するために、各調査地点の負荷量と減衰速度係数の値を使用した。

河川水中の医薬品類の負荷量に対する下水処理場から放流された処理水の寄与率として、調査区間に流入する負荷量(St.1~St.5とA処理場~D処理場における負荷量の和)に対する各下水処理場の負荷量の割合を算出した。また、下水処理放流水が流入する地点における医薬品類の負荷量に対する下水処理場の寄

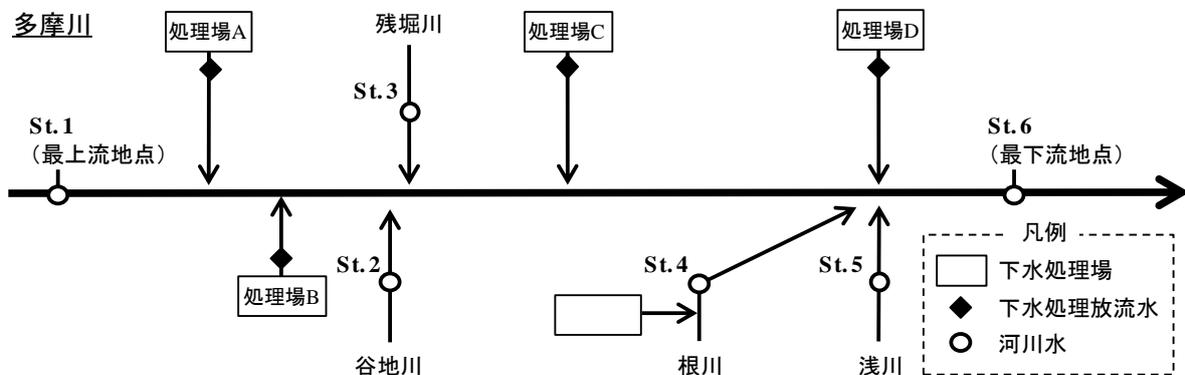


図1 多摩川の調査地点図

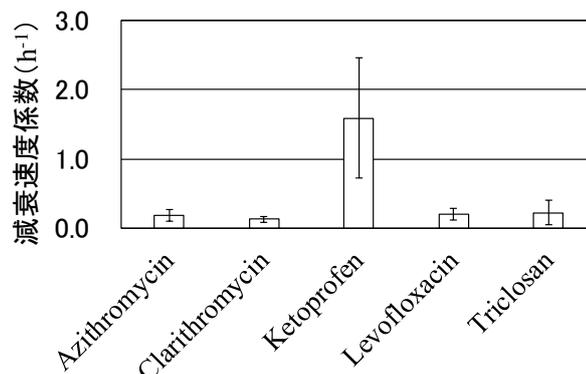


図2 多摩川の調査区間において算出した減衰速度係数

与率として、最下流地点 St. 6 を対象に、各下水処理場の寄与率を以下の式から算出した。

下水処理放流水_iの寄与率(%)

$$= \frac{\text{負荷量}_i \times e^{-\text{減衰定数} \times \text{下水処理場 } i \text{ から St.6 までの流下時間}}}{\text{最下流地点 St.6 での負荷量}} \times 100 \quad (2)$$

寄与率が高い処理場ほど、最下流地点 St. 6 での負荷量に対する寄与の割合が高いことを示す。本研究では、処理場 A～処理場 D および下水処理場直下の根川(多摩川の支川)の St. 4 における寄与率を算出した。

3. 結果と考察

対象とした医薬品類 5 物質について、調査区間に流入する各下水処理水の寄与率を図 3 に示す。処理場 A、処理場 B、St. 4 の上流に位置する下水処理場は、処理

場 C、処理場 D と比べ、対象医薬品類の流入負荷量に対する高い寄与率を示した。医薬品類 5 物質の調査区間における合計流入負荷量に対する処理場 A、処理場 B、St. 4 の寄与率の平均値の範囲は、それぞれ、22.9～33.1%、16.4～25.4%、24.4～38.1%であった。

調査区間の最下流地点 St. 6 での医薬品類の負荷量に対する下水処理場の寄与率についてみると、Ketoprofen 以外の医薬品類 4 物質では、上流にある処理場 A と処理場 B において、合計流入負荷量に対する寄与率と比較して低い値を示した。これは、St. 6 までの流下距離が長い上流の下水処理場から河川に流入した医薬品類が、流下過程で減衰するため、これらの下水処理場の寄与が相対的に低くなったためであると考えられる。一方で、下流側に位置する St. 4 と処理場 D においては、St. 6 での負荷量に対する下水処理

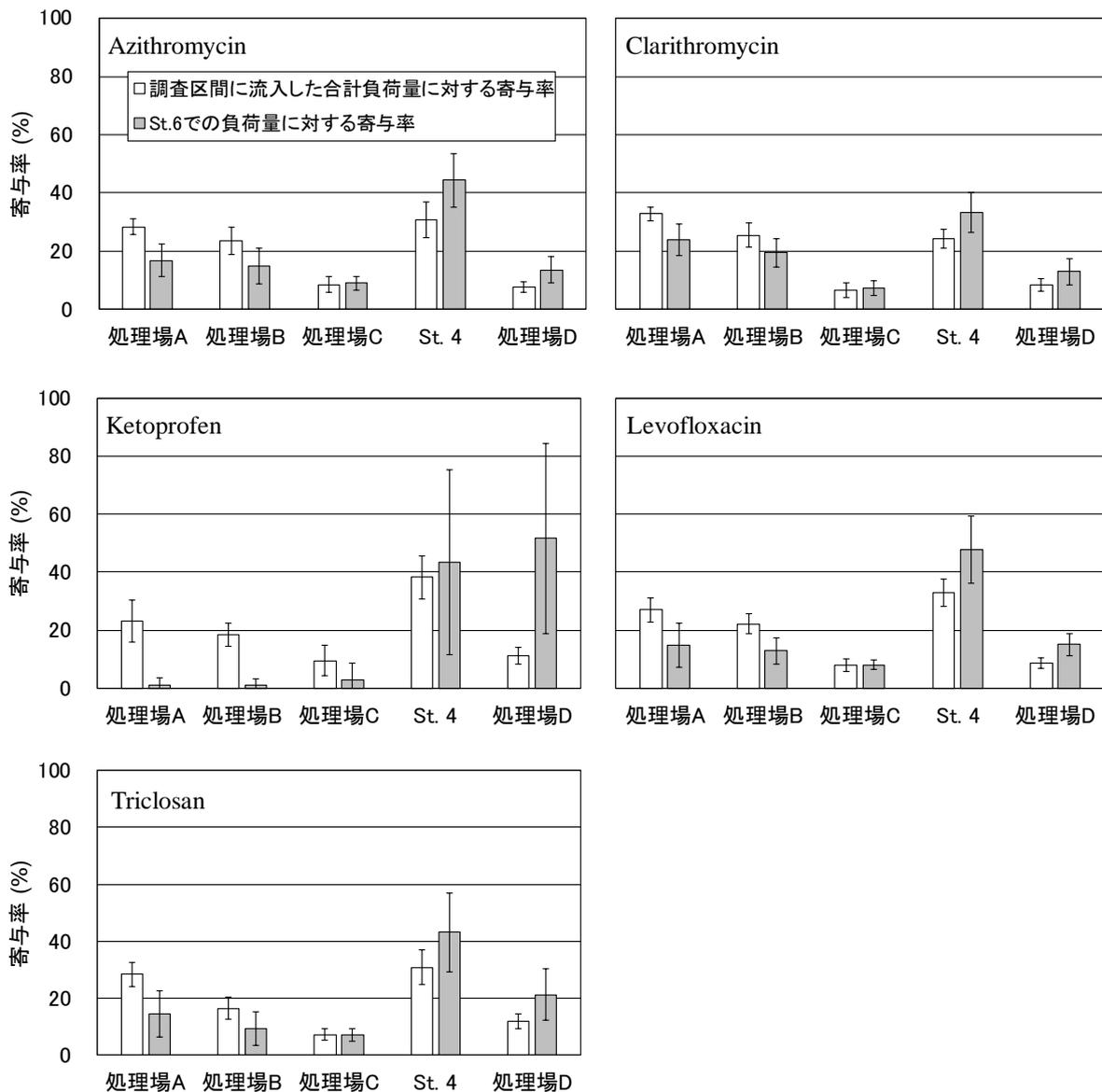


図 3 医薬品 5 物質の調査区間合計負荷量と St. 4 での負荷量に対する下水処理場の寄与率

場の寄与率は、合計流入負荷量に対する寄与率と比較して高い値を示した。また、Ketoprofen について、St.6 での負荷量に対する下水処理場の寄与率は、合計流入負荷量に対する寄与率に比べて、上流の処理場 A、処理場 B、処理場 C で著しく低い値を示し、St.4 と処理場 D での寄与率がほとんどを占めた。さらに、処理場 D において、St.6 での Ketoprofen の負荷量に対する寄与率は、他の医薬品類 4 物質に比べて、高い値を示した。この違いは、Ketoprofen の流下過程での減衰速度が他の医薬品類に比べて高いために、最下流地点までの流下距離の短い下流の下水処理場の寄与率が高くなったためである。以上の結果のように、多摩川中流域において、流入負荷量および多摩川本川での負荷量に対する下水処理場の寄与率を示すことができた。

調査地点 St. 6 での医薬品類の負荷量に対する寄与率が高い下水処理場は、St. 6 での医薬品類の生態リスクへの寄与率が高いと考えられる。過年度の調査研究で実施した生態リスク初期評価により、調査地点 St. 6 において、本研究で対象とした医薬品類のうち Azithromycin、Clarithromycin、Triclosan の生態リスクが懸念されている^{1, 5)}。Azithromycin、Levofloxacin、Triclosan については、生態リスクに対して St.4 の寄与率が高く、Clarithromycin については、生態リスクに対して処理場 A、処理場 B、処理場 C の寄与率が高いと考えられる。そのため、上記の医薬品類について、これらの下水処理場で負荷量の削減対策を実施し、例えば、St.4 での負荷量の寄与率を下げることにより、調査地点 St. 6 での生態リスクを効果的に下げることができると期待される。今後、下水処理場での医薬品類の削減対策やリスク管理を検討していくために、生態リスク初期評価で使用されているハザード比などを指標として、下水処理場の放流水が流入する調査地点での負荷量に対して高い寄与率を示す下水処理場から排出される負荷量が低下した時に、下水処理場の放流水が流入する調査地点で生態リスクがどの程度低減するのかを検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、多摩川中流域において、河川中の医薬品類の物質質量に対する下水処理場の寄与を把握することを目的とした。野外調査に基づいて算出した減衰速度係数と調査地点での負荷量から、調査区間に流入する負荷量および調査区間の最下流地点での負荷量に対する下水処理場への寄与率を推計した。その結果、寄与率の高い下水処理場を把握することができた。今

後、対象の医薬品類による下水処理場の放流水が流入する地点での生態リスクを考慮して、下水処理場での医薬品類の削減対策やリスク管理を検討していく予定である。

参考文献

- 1) Mano, H. and Okamoto S. (2016)、 Preliminary ecological risk assessment of 10 PPCPs and their contributions to the toxicity of concentrated surface water on an algal species in the middle basin of Tama River. *J. Water Environ. Technol.*、 **14**(6)、 423-436
- 2) 真野浩行、村山康樹、鈴木穰、中田典秀、南山瑞彦：PRTR 情報等を活用した下水処理水中に含まれる化学物質の環境リスク初期評価、下水道協会誌、50、85-93、2013 年 10 月
- 3) 国土交通省：一級水系における流域等の面積、総人口、一般資産額等について、http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/ryuiki.pdf (2017 年 3 月確認)
- 4) 花本征也：確率論的モデルと現地調査とに基づく河川流下過程における医薬品類の光分解に関する研究、博士論文、2013 年 3 月
- 5) 池田茂、小森行也、北村友一、真野浩行：水環境中における未規制化学物質の挙動と生態影響の解明、平成 24 年度研究成果報告書、<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2012/pdf/zyu-08.pdf> (2017 年 3 月確認)