

リン除去速度と蓄積量の評価—玉川上水を例として—

法政大学理工学部創生科学科教授 山田啓一

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻 小川智也

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻 田倉充英

1. はじめに

現在、東京湾や大阪湾など都市化された水域では、TP 負荷源の 6 割が「生活排水」であり年々その比重が増している。生活排水の大半は下水処理水であり、これを水深が大きく流速が速い大河川に放流すると希釈され除去されずにそのまま流出する。これによって植物プランクトンの異常繁殖等の富栄養化を引き起こす。栄養塩類の施設内での処理は高度な技術や莫大な費用を要する。休耕田や水生植物による生物学的除去も試みられているがごく部分的である。ところで、米国を中心に 1980 年代から「湿地」による栄養塩類除去の研究と実用化が進み、設計基準も提案されている。これらの成果は適切な濃度範囲と水深・流速の管理により、主として土壤微生物による栄養塩除去が達成されていることを示している。本研究ではリンを含む再生水が定常的に放流されている玉川上水でのリン除去速度と底質土壌リン蓄積量の関係を考察した。

2. 対象地域と観測項目

玉川上水は、高度処理水が流れている周辺水域からの流入が少ない用水路であり、栄養塩類の濃度が他の河川に比べて高い。また、最終的に東京湾へと流れていくことから、周辺水域の富栄養化に影響を与えていると考えられる。観測地点は参考文献（山田ら 2018）に記してある WR, T1, T2 である。調査項目は TN, TP, COD, pH, ORP, 流量である。

3. 物質収支による除去速度の算定

各水路区間における物質収支を(*)式を用いて検討する。A 区間 (WR-T1) で 10 時間、B 区間(T1-T2) で 5 時間の時間遅れを考慮する。溶存物質 TP 等は流水と共に移動すると仮定する。すなわち、濃度変化

は拡散ではなく、移流によるとする。なお、各区間の流量変動は全体の 10 %程度であり、ごくわずかである。

$$R = \frac{86.4(C_u Q_u - C_d Q_d - C_L Q_L)}{A} \quad (*)$$

R : 除去速度 (g/m²/day), C_u : 上流の濃度(mg/L), C_d : 下流の濃度 (mg/L), Q_u : 上流の流量 (L/sec), Q_d : 下流の流量 (L/sec), Q_L=Q_u·Q_d : 浸透流量 (L/sec), C_L=(C_u-C_d)/2 : 浸透水濃度 (mg/L)

4. リン除去速度の濃度依存性

WR における TP 時間変化は早朝に最大値となるが、それ以外の時間帯も短期変動がみられる。WR と比べると、T1 において TP は 70~80 %減少している。T2 は T1 に比べると若干低下している。

(*) 式を用いてリン除去速度 RP と流入濃度 CP の関係を図-1 に示す。なお、C 区間については TP 濃度が極めて不安定であり、同区間は A・B 区間と比べて流速が倍以上あり、底質リンの巻き上げが考えられ、この考察から除外した。A 区間で kP = 0.09 m/day と B 区間で kP = 0.23 m/day の 2 通りの除去係数がみられた。A 区間では、米国の湿地のリン除去係数の平均値 0.03 m/day より僅かに大きい。なお、B 区間では流入濃度が下限値に近いいため安定した除去係数が得られない。

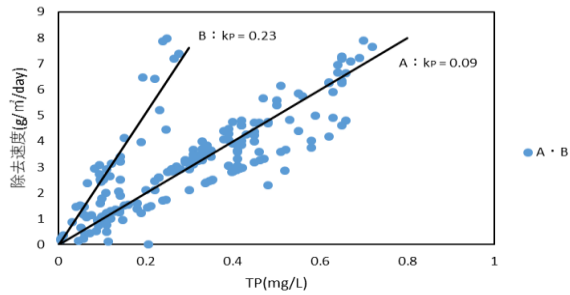


図-1 TP 除去速度の濃度依存性

5. 土壌リン蓄積量の推定

採泥は 2017/8/24, 11/8, 2018/1/17 に W0, T1, T2 の 3 地点の底質土壌を使用した。各地点における採泥した土に含まれる有機態リンと無機態リンを図-2 に示す。乾燥重量 1 g あたりおよそ 0.5 mg のリンを蓄積し、有機態リンが 8 割を占め、無機態リンが 2 割を占める。また、流下過程で有機態リンは流下方向に 0.06 mg/g 増加しているようである。なお、3 回の観測値はかなり変動があり、より詳細に検討したうえで最大リン蓄積可能量の検討が必要である。なお、米国の計測例ではリン蓄積量がおおよそ 0.3 ~ 1 mg/g(Kadlec, 1996)であり、今回の結果と比較すると妥当な値である。

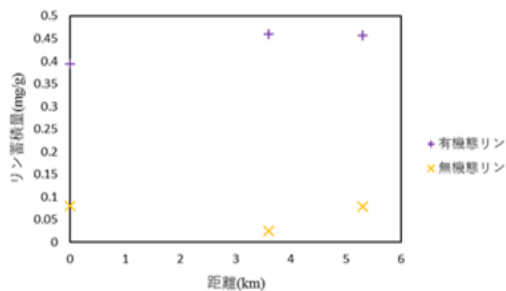


図-2 流下距離とリン蓄積量

これまでに示した年リン除去速度と土壌中リン蓄積量を用いて、何年分のリンが蓄積されているかを推定する。W0-T1 の 5.3 km 区間において底質土壌中リン蓄積量 0.5 mg/g が深さ 0.5 m 以内の全域にわたって均一に蓄積されているとする。土の単位体積

質量を 2.6 g/cm³ とすると、総リン蓄積量は 1.2 × 10⁴ kg である。今回の物質収支法で得られた平均 RP = 0.05 g/m²/day を考慮すると、およそ 32 年分の蓄積になる。通水を開始してから 31 年経つ玉川上水を考慮すると、総リン蓄積量とリン除去速度の関係は妥当な関係といえ、今後もリン除去が期待される。

6. まとめ

TP 除去速度の濃度依存性が示された。除去係数 kP は米国での湿地での測定値よりやや大きめであるが類似した値であった。pH 6.8 ~ 8.0 の範囲で TP 除去は、pH 増加とともに促進された。ORP 30 mV ~ 250 mV の範囲で TP 除去は ORP 増加とともに促進した。

土壌中リン蓄積量は 0.5 mg/g で有機態が 8 割、無機態が 2 割となった。なお、その値は米国の実測値よりやや大きい。W0-T1 区間において推定された土壌中リン蓄積量を 0.5 mg/g とすると、深さ 0.5 m の範囲でこの範囲にリンが蓄積されたと仮定すれば、この区間の土壌中の総リン蓄積量は観測されたリン除去量の 32 年分に相当する。これは玉川上水が通水を始めてからの期間とほぼ対応する。なお、今後の課題を挙げると以下の諸点である。

- ① 流動方向に沿ったより短距離区間の水質変化観測
- ② 土壌中リン蓄積量は深度方向、流下方向の観測
脱窒やリン保留に関する底質土壌の役割は極めて大きい。これらの実態はより詳細に検討すべきである。

〈参考文献〉

山田啓一, 小川智也, 田倉充英(2018): 玉川上水における再生水の窒素・リン除去機構
Kadlec, R.H. and R.L.Knight(1996): *Treatment Wetlands*, 373-480

キーワード 再生水, 玉川上水, リン除去速度, 土壌中リン蓄積量

連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学理工学部創生科学科 [TEL:042-387-6292](tel:042-387-6292)