

渡良瀬川に流入する有機物負荷量を推定するための流速について

足利工業大学工学部 正会員 ○長尾昌朋
足利工業大学工学部 正会員 上岡充男

1. はじめに

渡良瀬川は、栃木県日光市と群馬県沼田市との境にある皇海山（標高2144m）に源を発し、群馬県と栃木県の境界付近を流れ、渡良瀬遊水池を経て利根川に合流する。流路延長は107.6km、流域面積は2,621km²である。現在の渡良瀬川の水質は環境基準AまたはBを満たしている。この水質を守っていくためには、渡良瀬川の流域および河道での有機物の移動を把握する必要がある。そのため、当研究室では、渡良瀬川の水質調査を行い、有機物の移動モデルの構築に努めてきた。有機物は自浄作用を伴いながら移動するが、自浄作用の評価には少数の流速の実測値を利用しており、精度的な不備を感じていた。そこで、本研究では自浄作用の評価に関連する流速の簡便な推定法について検討するとともに、流域から河道へ流入する有機物負荷量を推定した。



図1 渡良瀬川の調査地点

2. 渡良瀬川の流量と水質

図1に示す渡良瀬川本川4ヶ所と頭首工2ヶ所の6ヶ所の調査地点で水質調査を行った。現地では流量測定と採水を行い、実験室で全有機炭素（以下TOC）を測定した。2007年から2015年までのTOC濃度の実測結果を図2に示す。下流ではTOC濃度がやや高い。しかし、上水道の水質基準である3mg/Lはおおむね守られていた。また、同時に生物化学的酸素要求量（BOD）も測定しているが、変化の傾向は同じであり、環境基準AまたはBをおおむね満足している。測定したTOC濃度と流量を用い、この積からTOC流下負荷量を求めた。図3にTOC流下負荷量の結果を示す。太田頭首工と邑楽頭首工の取水負荷量分が減少するが、本川のTOC流下負荷量は下流に向かって徐々に増加しており、それは流域から流入する有機物が原因と考えられる。

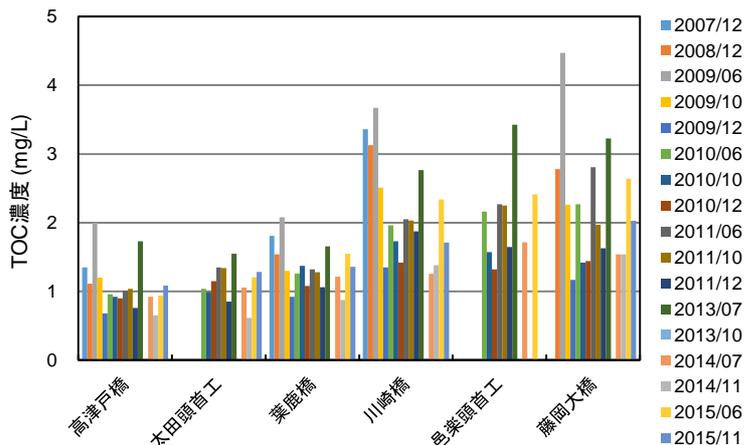


図2 TOC濃度の分布

3. 流速の推定

図4に河道での有機物の移動モデルを示す。河道を流下する有機物は、流域からの流入によって徐々に増加するとともに、自浄作用によって減少する。上下流の調査地点および頭首工での負荷量を測定しているので、自浄作用の効果がわかれば、

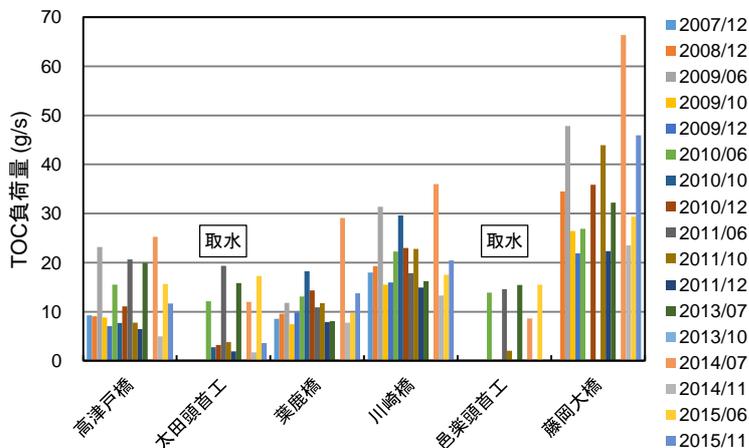


図3 TOC負荷量の分布

キーワード 渡良瀬川, 有機物の移動, 自浄作用, 流速の推定

連絡先 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 ☎0284-62-0605

物質収支を考慮することで流域から流入する負荷量が推定できる。自浄作用の効果は流下時間に関係するので、河道での流速を推定する必要がある。そこで、河道断面を幅広長方形と仮定し、連続の式 $Q = Bhv$ とマンニングの式 $v = n^{-1}h^{2/3}i^{1/2}$ を組み合わせると水深 h を消去し、

$$v = Q^{2/5} i^{3/10} n^{-3/5} B^{-2/5}$$

を用いて流速 v を推定した。この式で用いる諸量を図5に示す。流量 Q は実測値を内挿して使用した。流量は流域面積との相関が高いので、頭首工での取水量を下流の調査地点に加えて近似式を求めた。流速を推定する場合には、頭首工での取水量を減じている。マンニングの粗度係数 n は河川の状態から0.04~0.05を使用した。勾配 i は標高の近似式を微分して使用した。幅 B は地図や航空写真を利用して近似式を求めた。このような近似式を利用して推定した流速を図6に示す。下流側の川崎橋と藤岡大橋では推定値と実測値はおおむね良い一致を示す。上流側の2地点では実測値が小さくなっているが、水質調査を安全な淵で行ったためであり、瀬の部分と推定値は利用可能と考えられる。

4. 流域から流入する有機物負荷量

渡良瀬川本川を高津戸橋～葉鹿橋、葉鹿橋～川崎橋、川崎橋～藤岡大橋の3区間に分けた。調査地点および頭首工での TOC 流下負荷量の実測値を与え、図4のモデルを利用して流域からの TOC 流入負荷量を推定した。その際、河道を250mの小区間に分割し、それぞれの小区間でストリーター・フェルプスの式 $L_{out} = L_{in} \cdot e^{-Kt}$ を用いて自浄作用を計算した。ここで、 L は TOC 流下負荷量、 K は自浄係数($1.91 \times 10^{-5} s^{-1}$)である。流下時間 t は区間長と図6の流速から求めた。流域からの TOC 流入負荷量は、図1に示す流域 B (高津戸橋～葉鹿橋) で12.70g/s、流域 C (葉鹿橋～川崎橋) で16.03g/s、流域 D (川崎橋～藤岡大橋) で36.93g/sとなった。参考までに、渡良瀬川上流部の流域 A から排出される TOC 負荷量は、高津戸橋での流下負荷量の平均値である12.76g/sに相当する。

5. まとめ

以前は流速の実測値を用いて自浄作用の効果を推定していた。主に淵の部分で調査していたため、自浄作用を過大に評価し、流域から排出される有機物負荷量を過大に推定した可能性がある。それに対して、本研究の手法で得られた有機物負荷量はおおむね妥当であると考えている。流域での自浄作用の評価にもこの流速の推定方法を適用しようと考えているが、その場合には実測や数値計算などを用いた検証が必要と思われる。

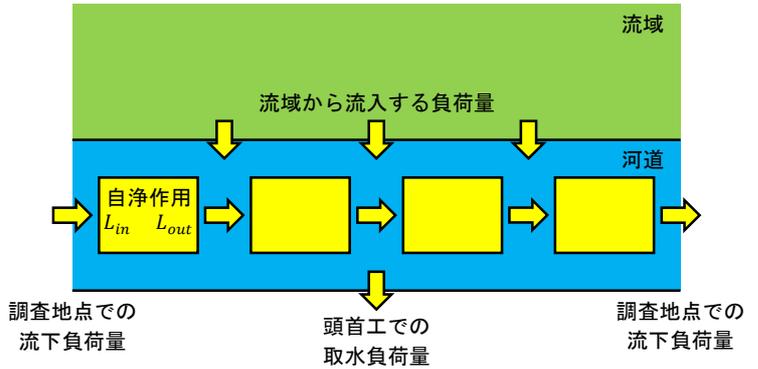


図4 河道での有機物の移動モデル

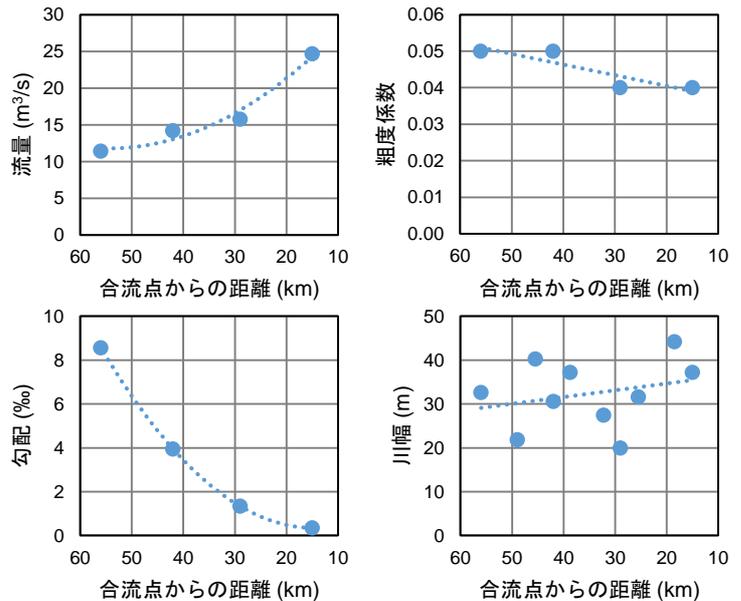


図5 流速推定のための諸量

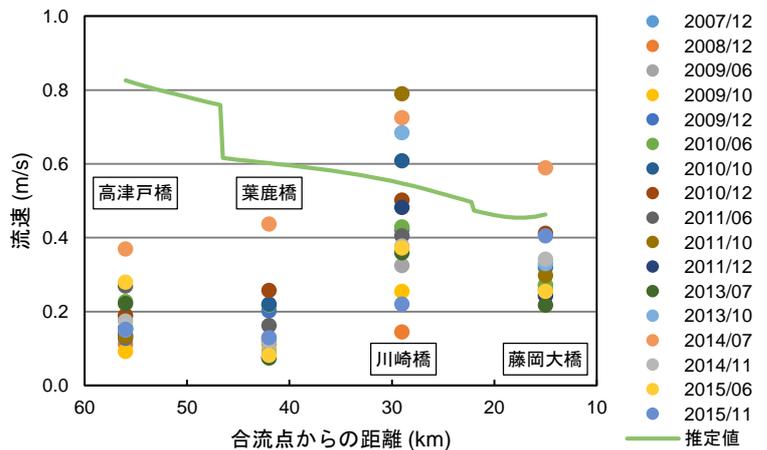


図6 推定した流速の分布