

河川における栄養塩類負荷量の簡易推定モデル構築に関する研究

立命館大学理工学部 正会員 佐藤圭輔 学生会員 佐藤浩一

1. 背景・目的

琵琶湖は日本で最大の湖であり、近畿圏に住む 1450 万人の水源である。過去には淡水赤潮が発生するなど水環境が悪化していたが、下水道の整備により改善された。しかし、面源負荷の対策は現在に至るまで有効な手段が見つけられておらず、例えば TN についての発生源別負荷の割合では面源負荷が約 6 割を占めている¹⁾。面源負荷量については、発生源における数十年前の原単位を積み上げることで予測を行ってきたが、実際には原単位そのものの値と流出・流達現象が考慮されていないことによる推定精度の限界が指摘されてきた。これら不確実性の改善は、昨今の気候変動や政策設計などの効果を適切に評価するためにも必要不可欠な取組である。そこで本研究は、人為および気象影響による面源負荷からの物質挙動を評価し、原単位の導出と簡便な負荷量予測モデルの構築を目的とし、琵琶湖流域(主に野洲川流域)を対象として調査を実施した。

2. 調査と分析方法の概要

本研究で対象とした野洲川流域は琵琶湖に流入する最大の流域(387km²、人口約 20 万人)であり、琵琶湖の環境・水質を保全する上で予測モデルの構築が重要な地域の一つである。個々の土地利用(水田、森林および市街地)からの物質負荷量を流下時間を考慮して重ね合わせることで流域全体の負荷量を算定するモデルを設計した。各土地利用からの降雨流出とその集水域の調査を実施し、モデルに必要な流出パラメータを分析した。また、泉川では人為影響の一つである代掻き出水の調査および解析も行った。表 1 に各調査地点における集水域の土地利用構成を、表 2 に調査概要を示す。各地点において、自動採水機(6712 型、ISCO)を使用した河川水の採取と河川流量の観測を実施した。試料は河川水質試験方法(案、1997 年版)に準拠して、SS、TOC、DOC、TN、DTN、TP および DTP を測定した。DOC は TOC-ControlIV(Ver.2.00、島津製作所)および POC は元素分析計(NC-22F、住化分析センター)を使用して分析した。

表 1. 各地点の土地利用構成

| | 集水域面積(km ²) | 土地利用構成(%) | | | | |
|---------|-------------------------|-----------|-----|------|------|-----|
| | | 水田 | 畑地 | 森林 | 市街地 | その他 |
| 泉川 | 1.96 | 73.8 | 1.4 | 0.8 | 24.0 | 0 |
| 朽木実験小流域 | 0.019 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| 守山川 | 3.42 | 35.9 | 0.6 | 0.1 | 63.4 | 0 |
| 野洲川中流 | 305 | 17.8 | 2.4 | 65.0 | 7.5 | 7.3 |

表 2. 各地点の調査概要

| 調査地点 | 目的 | 調査期間 | 採水設定 | 期間内降水量(mm) |
|---------|-----|------------------|-------------------------------------|------------|
| 泉川 | 代掻き | 2011/4/26~4/30 | 4時間毎に1L | 52 |
| | 代掻き | 2011/4/30~5/22 | 1時間につき500mL採水し、1時間で1L | 178 |
| | 代掻き | 2012/4/27~5/28 | 6時間毎に1L | 55 |
| | 降雨 | 2012/9/7~9/18 | 3mm/h以上の降雨時に、15分毎に1L | 82 |
| 朽木実験小流域 | 降雨 | 2012/9/30 | 3mm/h以上の降雨時に、1時間毎に1L | 142 |
| | 降雨 | 2012/9/29~10/1 | 流量上昇期は30分毎に1L、 平水時と流量下降期は1時間毎に1L | 122 |
| 守山川 | 降雨 | 2012/10/16~10/18 | 流量上昇期は30分毎に1L、 平水時と流量下降期は1時間毎に1L | 24 |
| 野洲川中流 | 降雨 | 2011/7/19~7/22 | 1時間毎に1L | 203 |

3. 調査結果

3.1 代掻き出水調査結果

河川水試料の分析結果から、式(1)を用いて代掻き出水時における物質負荷量原単位を算出した。泉川流量は、野洲川土地改良区の聞き取り調査で得た値(0.46m³/s)と実測調査による結果を利用して設計した。降雨流出量は、相応量を減じることで計算した。ベースフロー濃度は、各水質項目で最も小さい値を使用した。また、設定期間は各年度の調査期間と同一とした。算出結果を、表 3 に示す。

$$L_p = \frac{\sum_{\text{day}}(C-C_b) \times (Q-Q_p)}{D \times A} \times 10^{-2} \quad (1)$$

L_p: 物質負荷量原単位(kg/ha/day)、C: 物質濃度(mg/L)、C_b: ベースフロー濃度(mg/L)、Q: 泉川流量(m³/day)、Q_p: 降雨流出量(mm/h)、D: 代掻き出水期間(day)、A: 水田面積(ha)

表 3. 代掻き出水時における物質負荷量原単位

| | SS | TOC | TN | TP |
|------|----|------|------|-------|
| 2011 | 18 | 0.74 | 0.41 | 0.058 |
| 2012 | 23 | 1.2 | 0.44 | 0.094 |
| 1997 | 10 | - | 0.56 | 0.074 |

単位は全てkg/ha/day

1997 年の数値には、大久保らが琵琶湖流域内に位置する天神川で実測して得た数値²⁾を使用した。各物質項目とも、1997 年の値と比較するとオーダーとしては概ね一致する傾向となり、代掻きによる流出負荷は場所や年によって大きく変化しないことが示された。

3.2 降雨出水調査結果

各土地利用における降雨出水の調査結果から、物質項目ごとの L-Q 式を構築した(図 1)。泉川および守山川集水域は単一の土地利用で構成されていないが、他の土地利用からの流出影響は無いものと仮定して、物質負荷量を算定した。調査ごとに降雨規模が異なったため流量幅に差異が生じたが、これらの式を使用して流出動態予測モデルを構築することとした。

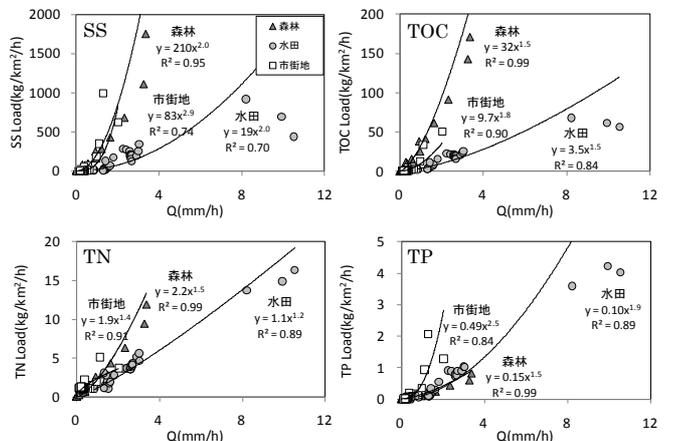


図 1. 各土地利用の L-Q 式

キーワード: 負荷量推定モデル, 栄養塩類, 琵琶湖流域, 土地利用

連絡先: 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 BKC イーストウイング 3F, 077-561-3023

4. モデルの構成

設計した物質負荷量予測モデルは、以下のような手順で構成されている。本研究では、小流域末端への水と物質の移動を「流出」、小流域末端から対象とした河川地点までのそれらの移動を「流達」と定義している。モデルは、エクセルベースで計算可能な簡易的なものである。適用地域は野洲川中流とし、2011年に調査を実施した大規模降雨出水時の流達負荷量を再現することとした。

- 1) 流域を小流域に区分し、土地利用を考慮したタンクモデル³⁾(図2)により有効降水量から流量を計算(Calibrationを含む)
- 2) 土地利用別のL-Q式を使用して、小流域ごとに流出負荷量を積算(式2)
- 3) 各小流域からの流量と物質負荷量について、経験式(3)⁴⁾を用いることで時間遅れを考慮し、対象とした河川地点で足し合わせ流量および流達負荷量を算出(式4)

$$L_{tj} = \sum_i (A_i \times a_i Q_{ti}^{b_i}) \quad (2)$$

L_{tj} : 小流域の流出負荷量(kg/h)、 i : 各土地利用、 j : 小流域番号、 t : 時間(h)、 A_i : 各土地利用面積(km²)、 a_i 、 b_i : 定数、 Q_{ti} : 流量(mm/h)

$$T_j = 1.67 \times 10^{-3} \left(\frac{R_l}{S_j}\right)^{0.7} \quad (3)$$

T_j : 洪水到達時間(h)、 R_l : 小流域末端から対象地点までの流路長(m)、 S_j : 平均流路勾配(-)

$$L_t = \sum_j (L_{tj} \times c_j) \quad (4)$$

L_t : 流域の流達負荷量(kg/h)、 L_{tj} : 小流域の流出負荷量(kg/h)、 c_j : 流達率(=1)

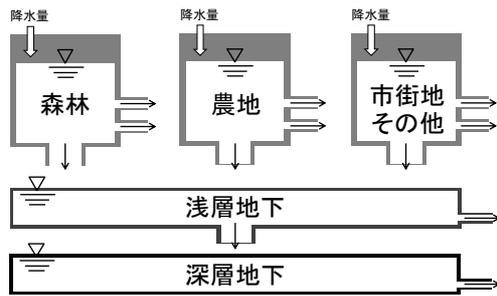


図2. 各小流域のタンクモデル模式図

流域は最小集水域面積を0.4km²として、GIS上で38個の小流域に区分された。降水量データはレーダーアメダス・解析雨量を使用し、各小流域重心に最も近いポイントの数値を入力した。流域平均降水量(面積加重)と下流の実測流量を比較することにより流出係数を求め、算定された有効降水量をタンクモデルの入力値とした。その後、対象地点における観測期間のハイドログラフが適切に再現されるようタンクパラメータが調整された。

5. 流達負荷量の算出結果

モデルによる計算負荷量と調査による実測値の比較(対象期間2011/7/19~7/22)を図3に示す。SSの負荷量は、実測値を下回る結果となった。この原因として、本モデル上で考慮していない河道内発生負荷量やL-Q式の限界が考えられた。野洲川は県内を流れる日野川や白鳥川と比較すると、年間流出負荷量に占める降雨流出負荷量の比率が高い傾向が推定されており⁵⁾、平水時に河道に蓄積した物質が出水時に流出したことが考察される。また、各土地利用の調査時における降雨規模が、今回対象とした降雨イベントよりも小さかったことも原因として推察される(表2)。一方で、TOCの再現性はSSと比較して良好な結果となったが、L-Q式が粒径依存性に基き構築されているためである。同量のSSである場合、平水時

のSS(小粒径)の方がより多くの物質が吸着することが、本研究の分析からも明らかとなっている。

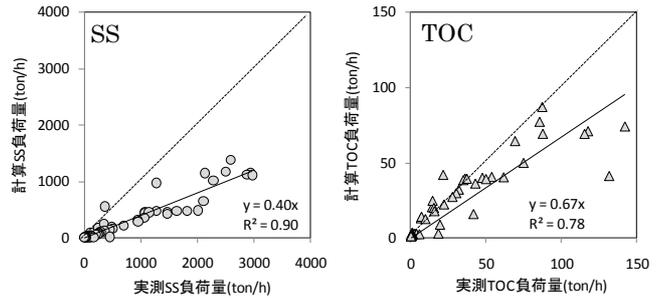


図3. 実測値と計算値の比較

6. 流出負荷量の評価

降雨時における流達負荷量は十分に再現できなかったが、流出負荷量の算出は可能であると仮定し、年間値を求めることとした。構築したタンクモデルは年間の蒸発散の変化(流出係数の変化)を考慮していないため、1年間を季節ごとに4区分後、各期間の有効雨量を算出し同様の手法でパラメータ値を設定した。2011年における各小流域の年間TN流出負荷量を示す(図4)。小流域38は平地に、小流域2は山間部に位置している。原単位値は、琵琶湖に係る湖沼水質保全計画(2006)のものを使用した。計算値には、代掻き出水の原単位を加えた。小流域38の計算値は、オーダーおよび構成が原単位積み上げ値と近似する傾向となった。一方で、小流域2の数値は原単位積み上げ値を上回った。上流域における年間降水量が下流域と比較すると大きいことが原因として挙げられる。以上の点から、本モデルは流出負荷量を定量的に評価可能であることが示された。

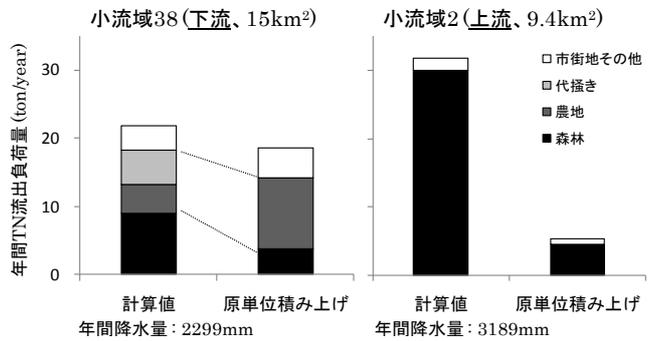


図4. 計算値と原単位積み上げの比較

7. 結論

面源負荷からの物質流出を対象とした調査を行い、代掻き出水の原単位値は既報値との比較から汎用性が認められた。また、降雨出水の調査結果から土地利用分布を考慮した流出動態予測モデルを構築し、実測SS流達量を総量で約4割を再現する結果となった。年間TN流出量については、原単位積み上げ値との比較から、一般に使用される原単位を再考する必要性を明示した。今後は、河道内ストック&フローとより規模の大きい降雨出水を捉えた調査を行うことで、さらなるモデルの推定精度向上に努めたい。

参考文献

- 1) 堀江陽介: 尿尿分離型生活排水処理システムの影響評価、EICA, Vol.13, 2008年
- 2) 大久保卓也、東善広、須戸幹: 琵琶湖沿岸域における代掻き・田植え時の濁水観測(2) - 流入河川の水質および汚濁負荷量の変化、琵琶湖研究所所報, Vol.17, pp.29, 1999年
- 3) 国立環境研究所: 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究, pp.9, 2002年
- 4) 土木学会(1999): 水理公式集・平成11年版, pp.37
- 5) 大久保卓也: 琵琶湖流入河川(野洲川、日野川)の降雨時を含めた汚濁負荷量の詳細把握、河川整備基金助成事業、2007年