

Investigation of Pollution Factors in Lake Jo-Numa

Shinichi UMEZAWA

鶴生田川の水質改善対策の一つとして、中流域に位置する城沼の汚濁要因を調査した。過去の水質調査結果を整理したところ、城沼を通過することでBOD・クロロフィルaが増加し、窒素・りんが減少していたことから植物プランクトンの増加による内部生産が行われていると推察された。内部生産は城沼のCODの47%程度を占め、長期分解調査の結果からそのほとんどは易分解性であると推定された。また、窒素とりんの比率から、城沼内部の植物プランクトンの成長はりんによって制限されると示唆された。外部負荷量を推計したところ、産業系が49.6%、次いで生活系が42.5%と産業系・生活系で9割を占めるという結果になった。

Key words : 湖沼 COD 内部生産 汚濁負荷量

1.はじめに

城沼は群馬県南東部を流れる鶴生田川の中流域に位置する停滞水域である。長らくBODの環境基準を達成できていない鶴生田川(群馬県、2019)の環境基準点は、城沼の下流に位置しており、少なからず城沼水質の影響を受けていると思われる。鶴生田川の水質改善対策の一つとして、城沼及びその流入・流出河川の水質測定結果等から城沼の外部負荷・内部生産について調査を行った。

2.調査方法

2.1. 城沼の水質把握

2000年から行われている(2002年を除く)城沼及びその流入・流出河川の月1回の水質調査結果(多々良沼・城沼自然再生協議会提供)について、BOD、COD_{Mn}(以下、COD)、全窒素、全りん及びクロロフィルa等に注目して整理を行った。採水場所は図1に示す3カ所である。

表1 負荷量算出使用データ

負荷量分類	使用データ	使用データ出典
生活系	1km ² メッシュ人口データ	平成27年国勢調査-世界測地系(1kmメッシュ)(e-stat)
	污水处理形態別人口	平成23年度版 群馬県流域別環境基準維持達成計画 調査報告書(群馬県環境保全課、2012)
	市町村別污水处理人口	群馬県の廃棄物 平成27年度版(群馬県廃棄物・リサイクル課、2018)
産業系	市町村・産業中分類別工業出荷額、排水量	平成28年経済センサス-活動調査結果(群馬県統計情報提供システム)
	業種別負荷量排出率	平成23年度版 群馬県流域別環境基準維持達成計画 調査報告書(群馬県環境保全課、2012)
畜産系	流域別各家畜頭数	平成23年度版 群馬県流域別環境基準維持達成計画 調査報告書(群馬県環境保全課、2012)
	市町村別家畜頭数	2015年農林業センサス調査結果(群馬県統計情報提供システム)
観光系	市町村別県内外別・日帰宿泊別観光入込客数	平成27年 市町村別県内外別・日帰宿泊別の観光入込客数推計表(群馬県統計情報提供システム)
自然系	水田、畑、山林面積	土地利用3次メッシュデータ(平成26年度、世界測地系)(国土数値情報ダウンロードサービス)

2.2. 難分解性有機物の実態把握

城沼及び流入・流出河川の難分解性有機物の実態把握を目的として、長期分解試験を行った。2020年10月10日に採取した水試料3Lを通気性のあるシリコンキャップをしたガラス瓶に入れ20℃の恒温室内で暗所保管し、採水してから0、7、14、21、28、50及び112日後試料のCOD、BOD及びTOCを測定した。試料保管時は自動タイマーを用いて12時間間隔で一日2回15分間スターラーを稼働し、好気状態を維持させた。

2.3. 外部負荷量推計

負荷量は生活系、産業系、畜産系、観光系及び自然系の5区分とし、原単位法により算出した。原単位は利根川流域別下水道総合計画計画説明書(群馬県、2011)を引用した。各負荷量の算出に使用したデータは表1に示すとおり。

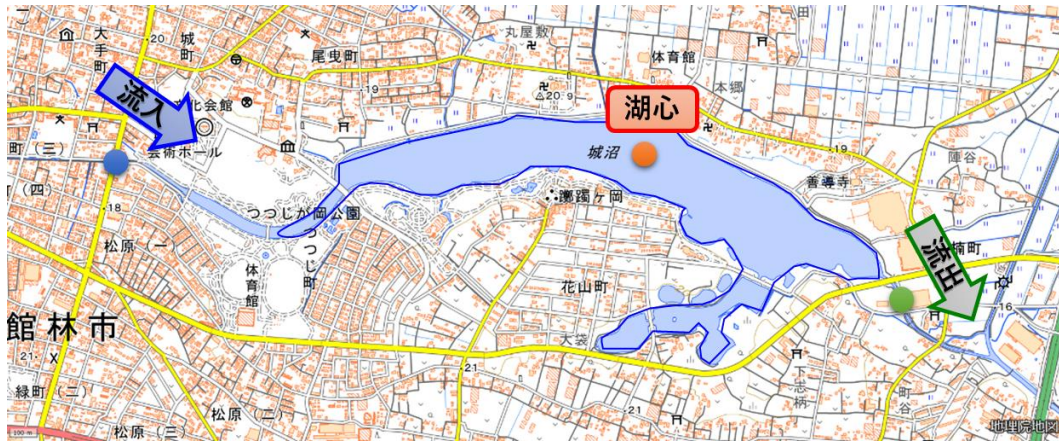


図1 採水場所（流入、湖心、流出の3地点）

3.結果及び考察

3.1.城沼の水質把握

城沼と流入・流出河川の BOD、全窒素、全りん、クロロフィル a の年平均値の推移を図 2~5 にそれぞれ示す。湖心の BOD、全りんは横ばいの状態が続いているが、全窒素、クロロフィル a については近年減少傾向が見られる。流入と湖心・流出の増減に着目すると、図 2 の BOD は流入前から環境基準 C 類型(5 mg/L)を超過しているが、湖心・流出ではさらに高い値を示す傾向が見られた。図 3、図 4 に示した全窒素、全りんでは湖心と流出がほぼ同じ値を示しており、流入に比べ減少している傾向が見られた。特に全りんは流入に比べ湖心・流出では大きく減少していることがわかる。一方、図 5 に示した植物プランクトンの指標の一つであるクロロフィル a は全窒素・全りんと異なり、流入と比較して湖心・流出の方が大きい値となっていた。これらのことから、沼内では全窒素・全りん等の栄養塩を消費して植物プランクトンが増加、その結果として BOD、COD が増加するいわゆる内部生産が行われているということが推察された。

そこで、下式で表される Δ COD 法(福島ら、1986)を用いて城沼の内部生産 COD を算出した。この方法は COD 最小値を外部負荷と考え、COD 平均値との差を内部生産とするものである。算出に当たっては年変動によるばらつきを考慮し、3 か年平均値を用いた。COD の外部負荷・内部生産の推移を図 6 に示す。

$$\Delta\text{COD}(\text{内部生産}) = \text{COD}_{\text{AVE}} - \text{COD}_{\text{MIN}}$$

COD_{AVE} : COD の 3 か年平均値
 COD_{MIN} : COD 年最小値の 3 か年平均値

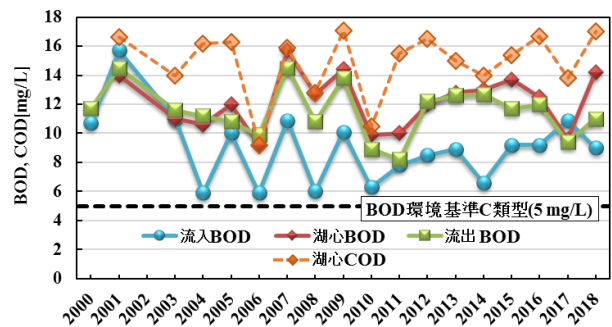


図2 城沼・周辺河川の BOD, COD 濃度推移

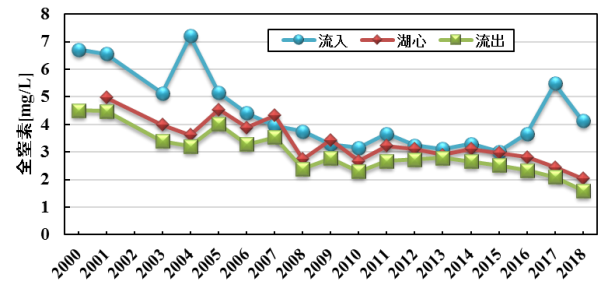


図3 城沼・周辺河川の全窒素濃度推移

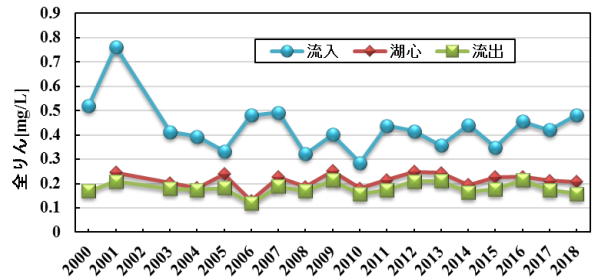


図4 城沼・周辺河川的全りん濃度推移

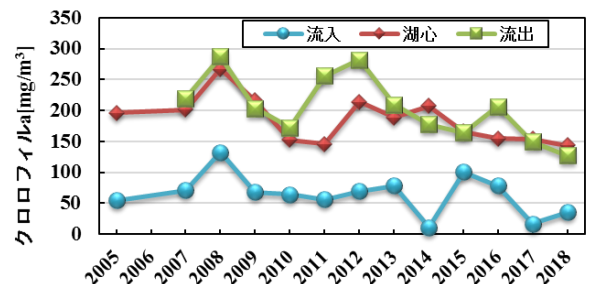


図5 城沼・周辺河川のクロロフィル a 濃度推移

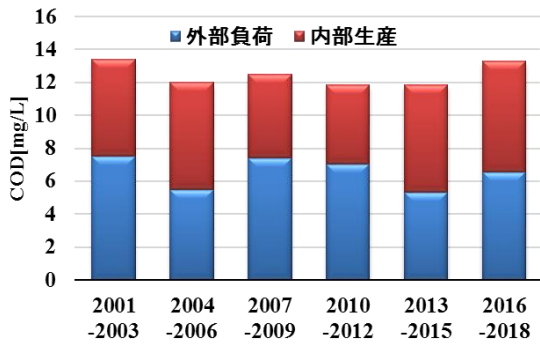


図6 外部負荷と内部生産の推移

COD 年平均における内部生産の割合を計算したところ、調査期間内では外部負荷、内部生産ともに増加または減少といった傾向はみられなかったが、平均 47%程度が内部生産によるものであることがわかった。このことから外部負荷だけでなく内部生産も沼の水質に大きな影響を与えていると考えられる。

次に、城沼湖心における各項目間の相関を表 2 に示す。

表 2 城沼湖心における各項目間の相関

	全窒素	全りん	クロロフィルa
COD	0.288***	0.746***	0.532***
全窒素		0.375***	0.041***
全りん			0.324***

*** $p < 0.001$

COD とクロロフィル a の間に相関が見られ、COD と全りんの間に特に強い相関が見られた。一方で、全窒素は COD、クロロフィル a のいずれとも大きな相関は見られなかった。全りとクロロフィル a の間に強い相関が見られなかったため断言はできないが、少なくとも城沼においては植物プランクトンの成長は全窒素の濃度変動には影響されないと推測される。図 7 にどの栄養塩が植物プランクトンの成長を制限するかを推測する指標である N/P 比の経年変化を示す。

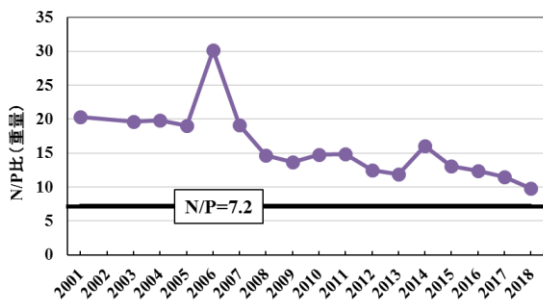


図7 城沼湖心の N/P 比 (重量) 経年変化

植物プランクトンの N/P 比は 7.2 であり (中西、1982) 水中の N/P 比がこれより高いとりん制限、低いと窒素制限になるとされている (藤本ら、1985)。N/P 比は徐々に減少してはいるが 10 程度で続いており、このことから城沼の COD に影響を与える植物プランクトンの成長は全りんによって制限されると示唆された。これらのことから、全りんの流入抑制等で沼内の全りんの削減を行うことができれば城沼の COD 改善の一助となることが期待できる。

3.2. 難分解性有機物の実態把握

琵琶湖では負荷削減対策により有機物や窒素、りんの流入が着実に減少しているにもかかわらず COD は減少しないことから、難分解性有機物の存在が指摘されている (岡本ら、2011)。難分解性有機物が多く存在している場合は、従来の負荷削減対策では大きな効果が得られないこともあるため、城沼における難分解性有機物の実態調査を行った。その結果、50 日目までは徐々に COD が減少していったが、それ以降は変化が見られなかったため、50 日後の COD を難分解性 COD、採水当日に測定した COD と難分解性 COD の差を易分解性 COD とした。各試料における COD の難分解性と易分解性の内訳を図 8 に示す。

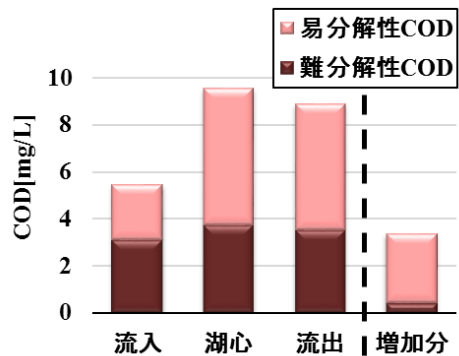


図8 城沼及び流入・流出河川の難分解性 COD

流出河川と流入河川の COD の差 (図中増加分) をみるとその内訳は難分解性が 12%、易分解性が 88%となった。このことから城沼で増加する COD は、琵琶湖等で課題になっている沼内に蓄積された難分解性のものでなく、城沼内部での植物プランクトン増加による易分解性のものが主であると見込まれる。そのため、栄養塩の流入抑制といったような従来の内部生産対策が有効な手段の一つであると考えられる。

3.3. 外部負荷量推計

城沼の COD 全体の半分を占める外部負荷の内訳をみるために原単位法を用いた汚濁負荷量推計を行った。2015 年の城沼集水域の COD 負荷量データを集計したものを図 9 に示す。

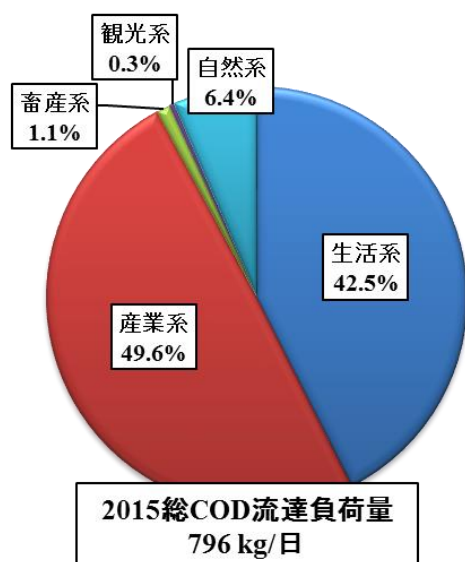


図 9 城沼集水域の COD 負荷量の内訳 (2015)

2015 年のデータでは総 COD 流達負荷量は 796 kg/日と推計され、49.6%が産業系、次いで生活系が 42.5%と産業系・生活系で 9 割を占めるという結果になった。一方で、城沼と同様の水質である近隣の多々良沼集水域で行った推計では総 COD 流達負荷量 1,177 kg/日のうち生活系負荷量が 56.6%を占めており、生活系負荷量の割合が大きく見積もられた(梅澤, 2019)。城沼の集水域である館林市は多々良沼集水域である邑楽町よりも合併浄化槽や下水道への移行が進んできており、生活系負荷量は徐々に減少してきている。その結果相対的に産業系の割合が増加し、産業系と生活系の割合が逆転したものと考えられる。汚水処理率にもまだ改善の余地はあるため、引き続き合併浄化槽や下水道接続への切り替えを推奨していくことでさらなる負荷量の削減が期待できる。

4. まとめ

城沼流入河川と流出河川の水質を比較したところ、BOD・クロロフィル a が増加し、全りん・全窒素が減少していることから城沼では内部生産が行われていることが推察された。COD 全体の半分程度は内部生産によるものであり、そのほと

んどは易分解性であると推定された。また、城沼内部の植物プランクトンの成長はりん制限であると考えられるため、特に全りんの流入抑制が内部生産対策に有効であると示唆された。

城沼の集水域である館林市は合併浄化槽や下水道への移行が進んできており、生活系の外部負荷量は減少してきている。汚水処理形態の改善といった外部負荷対策と合わせて、城沼の内部生産への対策を行っていくことで城沼、ひいては鶴生田川の水質改善にも効果が期待できる。

文献

- 藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆一. 1995. 全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子. 水環境学会誌. **18(11)**: 901-908
- 福島武彦, 天野耕二, 村岡浩爾. 1986. 湖沼水質の簡易な予測モデル 2. 湖水栄養塩濃度と内部生産 COD, クロロフィル a との関係. 水質汚濁研究. **9**: 775-785.
- 群馬県. 2011. 利根川流域別下水道総合計画 計画説明書. 91-97
- 群馬県廃棄物・リサイクル課. 2018. 群馬県の廃棄物 平成 27 年度版. 48-49.
- 群馬県環境保全課. 2012. 平成 23 年度版 群馬県流域別環境基準維持達成計画 調査報告書. 36-40.
- 群馬県森林環境部林政課. 2019. 令和元年度版 環境白書. p.77.
- 群馬県統計提供情報システム,
<http://toukei.pref.gunma.jp> (2019 年 12 月閲覧)
- 国土交通省国土政策局国土情報課. 国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (2019 年 12 月閲覧)
- 中西弘. 1982. 瀬戸内海の水質汚濁の経緯と富栄養化対策. 沿岸海洋研究ノート. **20**:71-82.
- 岡本高弘, 早川和秀. 2011. 琵琶湖における溶存有機物の現状と課題. 水環境学会誌, **34(5)**:151-157.
- 総務省統計局, e-stat, <http://e-stat.go.jp> (2019 年 12 月閲覧)
- 梅澤真一. 2019. 多々良沼の水質把握と汚濁負荷量調査. 群馬県衛生環境研究所年報. 51:38-41.