

浜田川の水質変動と降雨時の汚濁負荷の調査結果について

石川 裕一郎 岩田 杉夫*1 森下 一行*2 牧野 稚佳 牧原 秀明 丸山 貴之*3 鈴木 全*4

降雨時の汚濁負荷の実態を調査するため、豊橋市内の中小河川である浜田川で非降雨時及び降雨時の調査を行った。非降雨時では窒素成分及びリン成分はほとんどが溶存態であった。降雨時の調査では、各成分が時間経過により特徴的な変動を示すことがわかり、窒素成分及びリン成分では懸濁態が高く、SSとの相関がうかがえた。非降雨時と降雨時の汚濁負荷量の変化に着目すると、CODが最も大きく、次いでT-P、T-Nの順であった。

キーワード 降雨, 汚濁負荷

1 はじめに

本県における湖沼や内湾などの閉鎖性水域では、環境基準の達成率は長期的な推移をみると概ね横ばいとなっている¹⁾。水質改善対策には、水域に流入する河川のCOD, 窒素, リン等の削減があり、汚濁負荷の発生源としては、工場・事業場や家庭からの排水の他、山林や田畑などの面的な広がりをもつ場所からの流出も含まれる²⁾。このような面的な広がりをもつ地点では、河川への流出特性により、非降雨時と降雨時における栄養塩の流出状況に違いがあることが推定される。そこで非降雨時と降雨時に、河川で栄養塩等を含めた汚濁負荷の実態を調査した。これまでにその結果の一部を報告³⁾した。

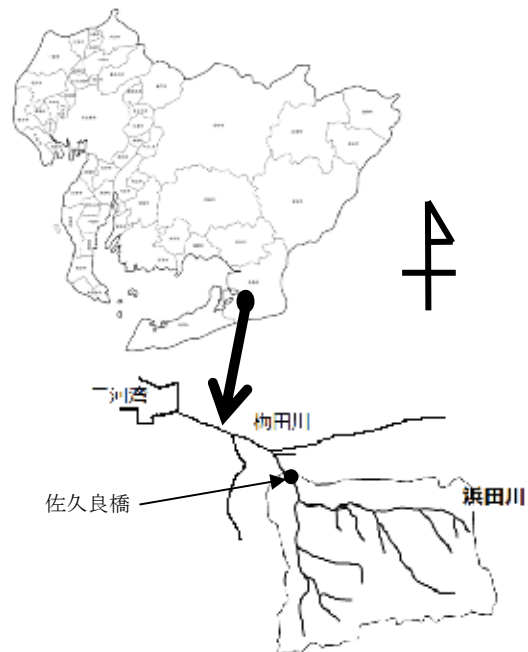


図1 調査河川及び採水地点

2 方法

2.1 調査地点

調査は、豊橋市内を流れる浜田川とした。浜田川は、梅田川(二級河川)へ合流した後、三河湾へ至っている。

流域内の土地利用状況の割合は、畑・果樹園約38%、山林約8%、水田約8%、宅地や空き地等が約45%となっている⁴⁾。流域内に面的な広がりをもつ地点が半分以上あることから対象河川として選定した。採水地点は佐久良橋である。調査河川等を図1に示す。

2.2 調査期間

調査期間は、2017年4月から2019年3月までとした。

2.3 調査方法

測定項目及び測定方法を表1に示す。

表1 測定項目及び測定方法

測定項目	測定方法
SS(浮遊物質)	重量法
COD(化学的酸素要求量)	過マンガン酸カリウム滴定法
T-N(全窒素)	紫外吸光度法
D-N(溶存態窒素)	
NH ₄ -N(アンモニア性窒素)	インドフェノール青吸光度法
NO ₂ -N(亜硝酸性窒素)	ナフチルエチレンジアミン吸光度法
NO ₃ -N(硝酸性窒素)	イオンクロマトグラフ法
T-P(全リン)	モリブデン青吸光度法
D-P(溶存態リン)	
PO ₄ -P(リン酸態リン)	
P-N(懸濁態窒素)	T-NとD-Nの差から算出
P-P(懸濁態リン)	T-PとD-Pの差から算出

*1 西三河県民事務所廃棄物対策課

*2 西三河県民事務所環境保全課

*3 東三河総局新城設楽振興事務所環境保全課

*4 元愛知県環境調査センター東三河支所

表1の他、気温、水温等については現場で測定した。加えて採水地点で、水深と流速を測定した。流速は、電磁流量計（JFE ALEC製 AEM1-D）を用い、川幅に応じて分割した水深にて測定した。流量を水深と流速から算出した。非降雨時においては、2017年4月から2019年3月までの間、月1回の定期採水調査を行った。なお、2018年6月並びに2019年1月は欠測である。降雨時は、左岸に設置した自動採水器（ISC02700）を用いて連続サンプリングを実施した。

3 結果と考察

3.1 非降雨時

表2に各測定項目の中央値等を示す。図2及び図3に窒素及びリン成分の濃度変化を示す。

窒素及びリン成分では、どちらもほとんどが溶存態として存在している。また、窒素成分ではNO₃-Nの占める割合が高く、リン成分ではほとんどがPO₄-Pであった。

濃度変化について着目すると、T-Nは1年目においては、夏季から冬季にかけて上昇がみられた。2年目においても類似の傾向がみられた。既報の浜田川の調査結果⁴⁾においても、窒素成分では冬季にかけての上昇傾向はみられている。なお、CODは窒素及びリンに比べると変動は小さかった。

1年目の調査結果⁵⁾においては、T-Nでは冬季にかけて流量が減少した影響と考えられるとしていたが、2年間の調査結果から改めて解析を行い、流量とT-N、T-Pのそれぞれの直線相関はそれぞれ、流量とT-Nで（R²=0.21, p<0.05）、流量とT-Pで（R²=0.36, p<0.05）となり、サンプル数も考慮すると相関があるとは言えない。原因としては、河川の状態の他、河川近傍の固定発生源等をはじめとした複数の要因が関係していると考えられる。

図4に流量とCOD、全窒素及び全リンの汚濁負荷量を示す。なお、全リン汚濁負荷量についてはスケールが小さいため、5倍で示した。流量は、最小と最大で約4倍の差があった。調査前非降雨日数、流域の利水状況等が要因として考えられた。また、既報⁵⁾でも触れたが、採水地点で台風等により河川の一部において水深が増加したことによると考えられる。

COD及びT-Nでは、流量増化に伴い汚濁負荷は増加した。T-Pでは増加傾向はあるもの、COD及びT-Nほど流量に対する応答はないように見受けられた。

表2 非降雨時調査結果

項目	単位	中央値	最小値	最大値
pH		6.7	6.3	~ 7.9
SS	mg/L	4.8	2.4	~ 8.8
COD	mg/L	7.3	6.1	~ 8.7
T-N	mg/L	9.7	4.3	~ 13
D-N	mg/L	9.1	4.2	~ 13
P-N	mg/L	0.29	<0.05	~ 2.7
NO ₃ -N	mg/L	6.9	3.4	~ 9.9
NO ₂ -N	mg/L	0.39	0.08	~ 0.79
NH ₄ -N	mg/L	0.85	0.08	~ 2.5
T-P	mg/L	0.78	0.53	~ 1.0
D-P	mg/L	0.72	0.49	~ 0.97
P-P	mg/L	0.04	<0.01	~ 0.08
PO ₄ -P	mg/L	0.67	0.43	~ 0.89
流量	m ³ /s	0.43	0.22	~ 0.88

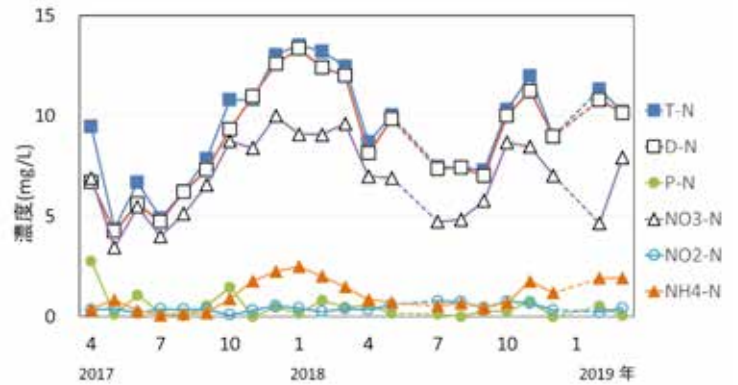


図2 非降雨時調査結果(窒素成分)

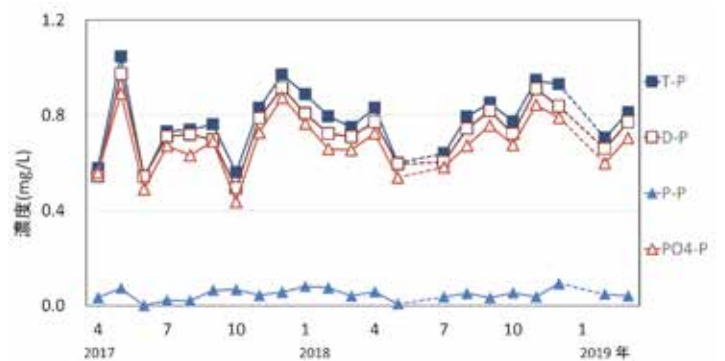


図3 非降雨時調査結果(リン成分)

3.2 降雨時

降雨イベントの解析結果を以下に示す。降雨量は、調査地点から北に5kmにある気象庁のアメダス観測システムの豊橋観測点のデータを用いた⁶⁾。

3.2.1 降雨イベント

降雨イベントの例を示す。調査は、2018年6月19日から20日まで行った。調査前晴天日数は1日間、総降雨量は76mm、最大降雨強度は8.0mm/Hrであった。採水間隔は1時間とした。サンプリングは装置の都合上、20日12時30分までとした。

図5に降雨量、COD及びSSの時間変化を示す。また図6に窒素成分、図7にリン成分の時間変化を示す。

なお、19日23時に0.5mmの降雨が観測された他、20日1時から3時まで数mmの降雨が観測されたが、この間の各濃度の変化がほとんど認められなかったため、20日5時30分以降を降雨イベントとして整理した。また、19日16時30分時点がこの降雨イベントに対する非降雨時として比較を行った。

CODは、少しずつ濃度が上昇し、最高降雨強度を示した時間帯で、最大の59mg/Lとなった。SSもCODと同様に上昇し、最大で450mg/Lを示した。SSとCODの濃度変化に着目すると、CODの減少に対し、SSではそれほど減少しなかった。降雨継続に伴うSS濃度の上昇は、降雨による増水で河床堆積物が流出したことが影響として推測された。

窒素成分では、T-N及びNO₂-Nは、時間経過に対して変動はあまりないが、P-N及びNH₄-Nは、時間経過に対して濃度が増大した。NO₃-N及びD-Nは時間経過に対して類似した傾向を示し濃度が減少した。

リン成分では、T-Pが、時間経過に対して濃度が増加しており、P-Pも類似の傾向を示している。D-P及びPO₄-Pの濃度は、時間経過に対して増加し、両者の濃度の挙動はよく一致していた。D-P濃度に占めるPO₄-P濃度は、約90%であった。

窒素は非降雨時では、約5%が懸濁態であったが、降雨イベントでは約47%が懸濁態であった。

またリンは非降雨時では、約6%が懸濁態であったが、降雨イベントでは約58%が懸濁態であった。このことから、降雨時には、非降雨時と比べ、窒素及びリン成分では、懸濁態の割合がかなり高くなることがわかった。

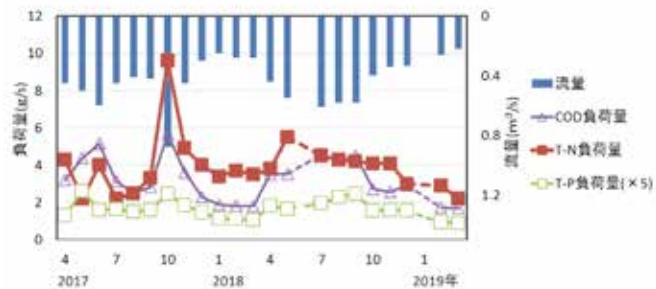


図4 非降雨時調査結果(流量—汚濁負荷量)

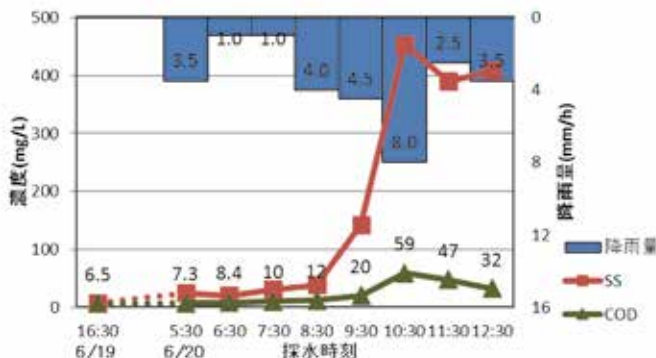


図5 降雨イベント時間変化(降雨量, SS, COD)

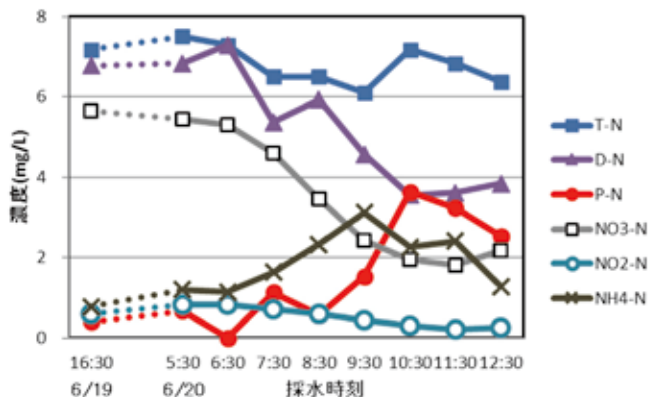


図6 降雨イベント時間変化(窒素成分)

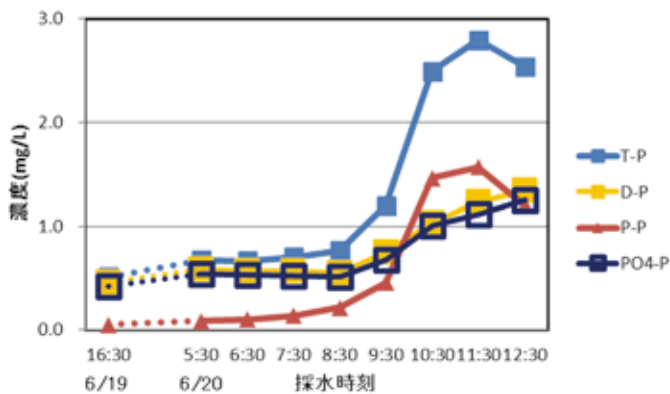


図7 降雨イベント時間変化(リン成分)

この懸濁態の由来としては、畑等の面源、面源から河川への経路の堆積物の他、河床堆積物の巻き上げによるものに起因すると考えられる。懸濁態の割合が高くなることからSSとの関係に注目した。降雨イベントでのSSとP-N、SSとP-Pの関係を図8に示す。サンプル数が限られているが、両者にはよい相関が認められた。また、濁度とSSは高い相関関係が認められている⁷⁾ため、窒素、リンの濃度を直接分析しなくても、SSまたは濁度を用いて降雨時の汚濁負荷を簡易的に推定できる可能性がある。

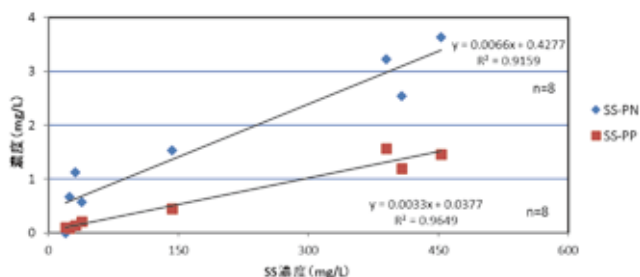


図8 降雨イベントのSSと懸濁態の関係（窒素、リン）

3.2.2 降雨時の汚濁負荷量について

降雨時の特徴としてCOD、窒素成分及びリン成分の変動については、先述したが、河川や閉鎖性水域への影響では、汚濁負荷量を考慮する必要がある。

図9に非降雨時と降雨時の汚濁負荷量の比較を示す。非降雨時及び降雨時ともに2018年4月の測定値である。降雨時に測定した中で、汚濁負荷量の変化が大きかったため選定した。なお、この降雨時に測定した流量は、同じ4月の非降雨時の約14倍であった。降雨時の汚濁負荷量の変化を非降雨時との倍率で表すと、CODが55倍で最も高く、次いでT-Pが42倍、T-Nが8.7倍であった。

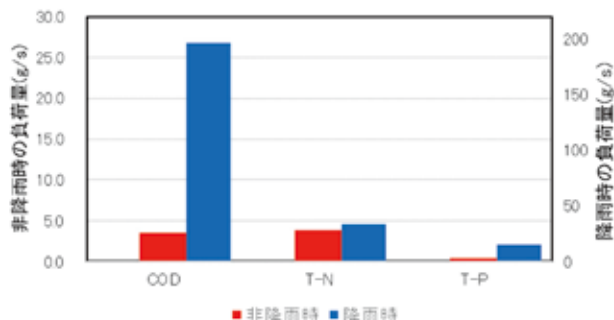


図9 非降雨時と降雨時の汚濁負荷の比較

この結果は、先述した降雨イベントの濃度変化から説明できる。降雨イベントでは、CODとT-Pについては、共に大きく増加することから、流量増加に伴って倍率が大きくなりやすいと考えられる。T-Nは濃度があまり変化

せず一定に近い変動であるためCOD、T-Pほど倍率が高くならなかったものと考えられる。

降雨時は、各濃度だけではなく、汚濁負荷量も高くなることがわかったが、汚濁負荷量変化の倍率は各項目濃度で異なっている。このことから降雨時の面源からの各汚濁負荷量の軽減を考える場合、それぞれの汚濁負荷の特徴に応じた対策が必要になると考えられる。

4 まとめ

2年間にわたる非降雨時定期調査及び降雨時調査を行った。非降雨時においては、窒素及びリン成分は、ほとんどが溶存態として存在していた。

降雨時の調査では、各成分が特徴的な変動を示すことがわかり、窒素成分及びリン成分では懸濁態が高く、SSとの相関がうかがえた。汚濁負荷量の変化に着目すると、非降雨時には、CODが最も大きく、次いでT-P、T-Nの順であった。

今後は、降雨時の長期的な挙動について、より高負荷時になる降雨イベントについても把握していきたいと考えている。特に台風時には、非常に高負荷になることが推定される。最近では、2019年10月には台風19号が日本に上陸し、その影響で土砂が海に流出した旨、報道される⁸⁾など、陸域からの懸濁成分の流出が認められている。台風時に調査した報告によると年間の汚濁負荷量に対する影響は大きい⁹⁾とされている。台風時では詳細な調査が困難な面もあるが、自動採取器による濁度などの測定データにより容易に推定が行える可能性を今後検討することで、汚濁負荷の把握に寄与できるものと思われる。

文 献

- 1) 愛知県環境局：2018年度公共用水域及び地下水の水質調査結果、大気汚染調査結果について <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/2018suishitsu-taiki.html> (2020.2.10)
- 2) 井上隆信：非特定汚染源の原単位の現状と課題，水環境学会誌，26(3)，131-134 (2003)
- 3) 石川裕一郎，岩田杉夫，牧野稚佳，牧原秀明，丸山貴之：浜田川における降雨時の汚濁負荷の調査結果について，第33回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会 (2019.1)
- 4) 岩田杉夫，遠藤忠嗣，井上隆信，横田久里子，大久

- 保陽子：中小河川からの栄養塩負荷の流出特性，水環境学会誌，**36**(2)，39-47（2013）
- 5) 石川裕一郎，岩田杉夫，森下一行，丸山貴之，鈴木 全：浜田川における降雨時の汚濁負荷の調査結果について，愛知県環境調査センター所報 **46**，43-45（2018）
- 6) 気象庁：各種データ・資料
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
（2020.2.10）
- 7) 藤生和也，吉田敏章，田本典秀：5.雨天時における路面排水負荷対策に関する調査，国土技術政策総合研究所資料，**323**，15-18（2005）
- 8) 朝日新聞デジタル：台風19号で土砂流出、海濁る「しきさい」撮影
https://www.asahi.com/articles/ASMBJ46LDMBJULBJ_00C.html（2020.2.10）
- 9) 海老瀬潜一，川村裕紀：淀川本川のスーパー出水を含めた出水時水質と負荷量の年間総負荷量への影響評価，水環境学会誌，**40**(2)，39-49（2017）