

# 豊田市内における都市河川の降雨時リン流出特性の把握

Runoff characteristics of phosphorus during rainfall events in an urban stream of Toyota city

松本嘉孝<sup>1)</sup>, 高木 翼<sup>2)</sup>, 江端一徳<sup>1)</sup>

Yoshitaka MATSUMOTO<sup>1)</sup>, Tsubasa TAKAKI<sup>2)</sup>, Kazunori EBATA<sup>1)</sup>

## 要 約

豊田市内を流れる都市河川（初陣川）において、降雨に伴う増水時の全リンの流出特性把握を目的とし、短時間における連続採水を行い以下のことが明らかとなった。1) 増水時における流量の増加に伴い、全リン濃度および全リン量は増加した、2) 連続した増水があった場合、同じ程度の流量であっても河川中のリン量は後半ほど減少する。以上のように、豊田市内における都市河川において、増水時に多くのリンが流出するおよびその流出特性が明らかとなった。

キーワード：全リン、降雨イベント、都市河川、ノンポイント汚染

## はじめに

特定汚染源による公共用水域の水質汚濁負荷は減少傾向にある一方、ノンポイント汚染による湖沼や内湾等の閉鎖性水域での富栄養化の問題が指摘されて久しい。閉鎖性水域の富栄養化は東海地方においても例外ではなく、矢作川水系が流れ込む衣浦湾のCOD環境基準においても平成2年以降基準値を上回りかつ、年々COD値は上昇傾向にあるため（三河湾流域圏会議HP）、ノンポイント汚染の現状調査およびそのメカニズム解析が必要であるといえる。ノンポイント汚染に関する研究として、原単位法による汚濁負荷量の評価（井上, 2003）や汚濁物質の流出モデル解析（肱岡・古米, 2001）など多くの報告が行われている。特に、汚濁物質の流出負荷量が増大する雨天時の水質調査および負荷量算定が原単位を算出するうえで重要視されている（井上, 2003）。その一例として、和波・嶋津（2002）は、降雨時の都市河川において自動採水器を用いて1時間または2時間の間隔で連続採水調査を行い、有機汚濁物質および栄養塩類の急激な濃度上昇を確認している。しかし、今野ら（2005）が指摘しているように、降雨時における都市河川の水質

変化についての観測データは十分に存在していないことが問題として挙げられる。

その栄養塩類の一つであるリンは形態別に分類すると溶存態と懸濁態に分けられる。このうちリン酸態リンのみが植物プランクトンに吸収されやすく富栄養化の直接的要因と考えられていたが、近年、懸濁態リンの藻類による一次生産への利用が報告されたため、河川中および湖沼堆積物のリンの組成を検討する研究が始まっている（対馬ほか, 2008）。そのため、リンにおいてはまず溶存態と懸濁態を合わせた全リンの測定が望まれる。

ここで、矢作川流域におけるリンの流出負荷量では、高岡ら（2010）が構築した水・物質循環モデルによる報告によると、1950年から2004年で全リン流出量が2倍以上増加したことになっている。このうち、ノンポイント汚染に該当する表面流出については、1割程度を占めていることが読み取れる。また、矢作川が流入する伊勢湾については、全リン負荷量の9%をノンポイント汚染である土地系が占めている（伊勢湾再生推進会議, 2007）。そして、依然として伊勢湾全体においては全リンの環境基準達成率は低いのが現状である。

このように、矢作川流域における全体の負荷量に対す

るノンポイント汚染が及ぼしている影響は小さいと考えられるが、その負荷量算定が発展途上であったり、観測データが乏しいこともあることため、各流域における調査や解析が望まれる。そこで本研究では、豊田市内における都市河川において、降雨時連続採水調査で全リン濃度を測定し、そのリン濃度およびリン量を把握し流出特性を明らかにすることを目的とする。

## 調査方法

### 調査場所

本調査は豊田市の中心市街地を流れる準用河川である初陣川で行った。初陣川は矢作川水系の支流で、一級河川の安永川に合流し、三河湾に至る河川である(図1a, 図1b)。初陣川は流域面積 2.59km<sup>2</sup>、流路延長 3450m の小流域の河川で、流域の土地利用形態は約 80%が市街地であり、典型的な都市河川であるといえる(表1)。豊田市の中心市街地は浸水対策に積極的に取り組んでいる地域であることから、初陣川は降雨などの流量増加時にはポンプによる流量調整が行われている。採水は、河川上流端から 1781m 地点で、豊田市神田町 1 丁目の流域の遊水地にもなっている神田公園の前で行った(図1, 写真1)。採水地点は、三面張りのコンクリート施工がされた開水路で、河床には砂、砂利などの堆積に加え、藻類が繁茂していた。



写真1 採水地点.

表1 初陣川流域の土地利用別面積と割合.

流域 利用 形態	土地利用	土地利用別流域面積	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
	山地	0.02	0.8
	水田	0.30	11.6
	畑 原野	0.17	6.6
	一般市街地	1.47	56.8
	密集市街地	0.63	24.3

### 採水方法

降雨時における連続採水には、自動採水器 ISCO 製 6712 を使用し、1回の採水における採水量は 1L とした。採水ノズルは、河道側面の河床から 4cm 上部に固定し、河床堆積物を直接採取することがないように設置した。各イベントで採水間隔は異なり、event 1 では 1 時間間隔の採水を 8 回行い、降雨前の 1 回目の採水を合わせて計 9 回の採水を行った。event 2 では 30 分間隔の採水を 5 回、20 分間隔を 1 回、10 分間隔を 2 回行い、降雨前の 1 回目の採水を合わせて計 9 回の採水を行った。event 3 では 1 時間間隔を 2 回、30 分間隔を 2 回、20 分間隔を 3 回、10 分間隔を 14 回行い、降雨前の 1 回目の採水を合わせて計 22 回の採水を行った。

### 調査日時

調査を行った降雨イベントは 3 回である。1 回目の降雨イベントは 2009 年 11 月 14 日であり event 1 とする。2 回目の降雨イベントは 2009 年 12 月 3 日であり event 2 とする。3 回目の降雨イベントは 2009 年 12 月 5 日であり event 3 とする。



図1a 矢作川流域図.

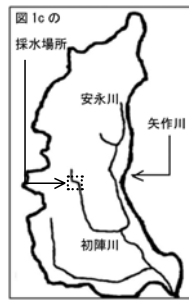


図1b 安永川流域図.

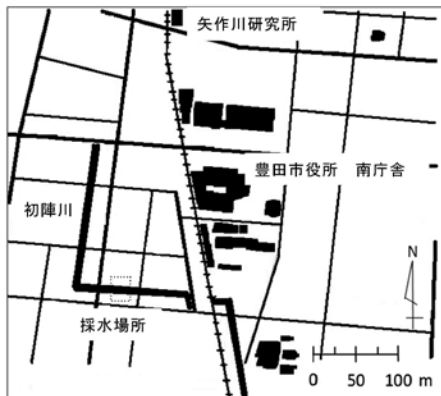


図1c 採水地点.

水質分析方法

今回調査対象とする全リンは、試料水をろ過せずペルオキシ二硫酸カリウム高圧分解法－モリブデン青法により測定を行った。測定にはSHIMADZU UV-2450の分光光度計を用いた。

水文観測方法

水深観測は、圧力式水深計（ハイネット HM-500）を用いて行った。計測間隔は1分とした。出力値から水深への変換は、実測水位値と出力値との14点の関係を把握しその近似式より水深を求めた。平均流速はマンニングの式により算出した。その際の流路勾配は河川台帳（豊田市役所, 1996）より1/543とし、粗度は浮子によって測定した流速を更正係数により求めた平均流速とマンニングの平均流速との最小自乗法によって得られた値(0.028)とした。降雨量の観測は、気象庁のAMeDAS観測システムの愛知県豊田市のデータを用いた。豊田市の観測所は豊田市高町の東山にあり、採水地点との距離は直線距離で約8kmである。

結果および考察

1. 増水時における水文状況について

調査を行った降雨イベントの降水量、水深、流速、流量を表2に示す。イベント前の値は降雨によりそれぞれの値が上昇する直前の値を示している。event 1は3イベントの中で最も降水量が多くなるとともに、水深、流速、流量も最も大きくなった。特に流量はイベント前の流量に比べ10倍以上となった。event 2は3イベントの中で最も降水量が少なく、3.5mmの降水量しかなかった。そのため、水深、流速、流量共に最も小さくなった。event 3は水深、流速、流量のピークが明確に2度観測されたことが特徴である。それぞれの観測値が降雨により増減し、再び増加する直前までをピーク1、増加し採水が終了するまでをピーク2とすると、イベント後半に観測されたピーク2の方が、水深、流速、流量共に最大値が大きくなった。

表2 イベント毎の降水量、水深、流速および流量。

		event 1	event 2	event 3	
降水量 (mm)	総降水量	19.0	3.5	ピーク1	8.0
	10分間			ピーク2	8.5
	最大降水	5.0	1.0	ピーク1	1.0
水深 (m)	イベント前	0.17	0.19	ピーク2	1.5
	最大値	1.07	0.26	イベント前	0.19
流速 (m/sec)	イベント前	0.45	0.49	ピーク1	0.37
	最大値	1.11	0.58	ピーク2	0.41
				イベント前	0.50
流量 (m <sup>3</sup> /sec)	イベント前	0.28	0.33	ピーク1	0.70
	最大値	3.70	0.50	ピーク2	0.73
				イベント前	0.33
				ピーク1	0.84
				ピーク2	0.98

2. 降雨イベントにおける全リン量、濃度変化について

図2は降雨時における降水、流量変化と全リン量、濃度の変化をイベント毎に示している。event 1は3つのイベントの中で最も降水量が大きくなったイベントであり、時間雨量が5mmとなった10分後に河川流量も最大値となった。採水は1時間毎であったため、流量が最大となった時間に採水は行っていないが、その30分前の採水でリン量、濃度共に最も大きな値となった。その後はリン量、濃度共に減少しており、リン量と濃度はほぼ同じ時間変動を示した。event 2は時間雨量が1mmとなった20分後に河川流量の最大値が現れた。リン量および濃度は河川流量が最大となった20分後の採水時に最大値となった。その後はリン量、濃度共に減少しており、event 1と同様にリン量と濃度はほぼ同じ時間変動を示した。event 3のピーク1では時間雨量1.0mmが20分続いた後に流量最大値が現れ、ピーク2では時間雨量が1.5mmと最大となった同時刻に現れた。リン量と濃度が最大値となった時刻は、ピーク1、ピーク2共に、流量最大時と同じであり、リン量と濃度の増減変動は一致した。リン量と濃度のピーク1とピーク2の最大値を比較すると、両者ともにピーク2の方が小さくなった。

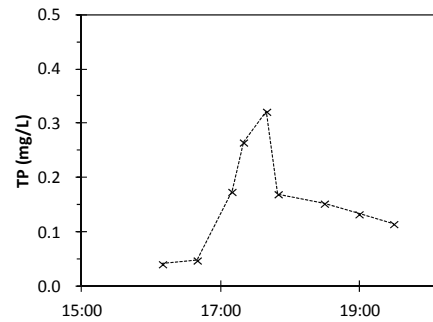
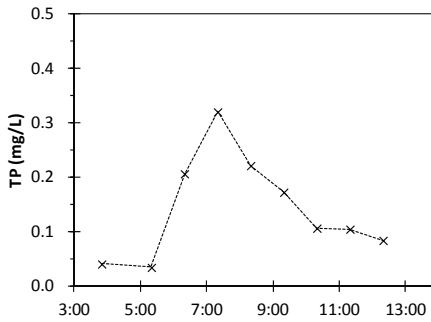
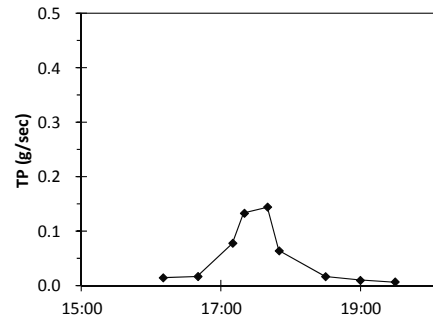
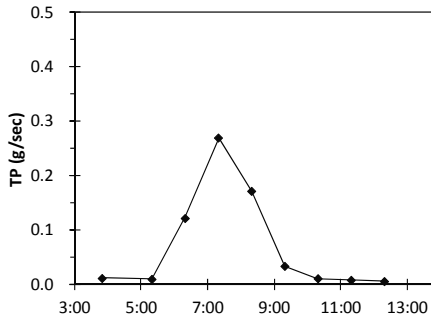
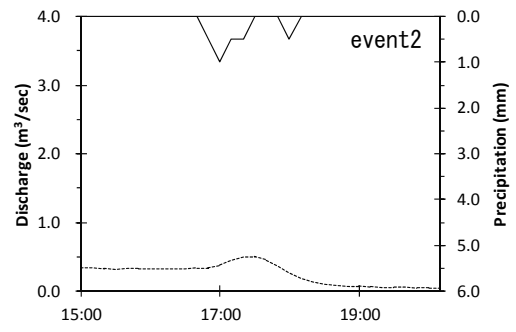
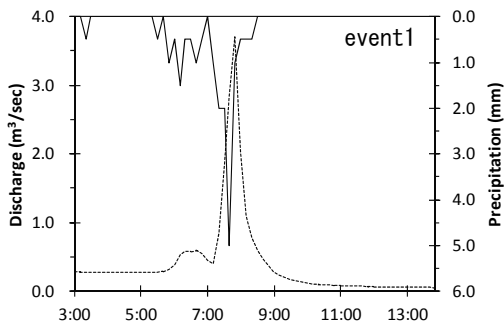


図2a event1における降水量，流量および全リン量と全リン濃度の変化.

上段：流量，降水量 中段：全リン量 下段：全リン濃度  
 ——：降水量，-----：流量

図2b event2における降水量，流量および全リン量と全リン濃度の変化.

上段：流量，降水量 中段：全リン量 下段：全リン濃度  
 ——：降水量，-----：流量

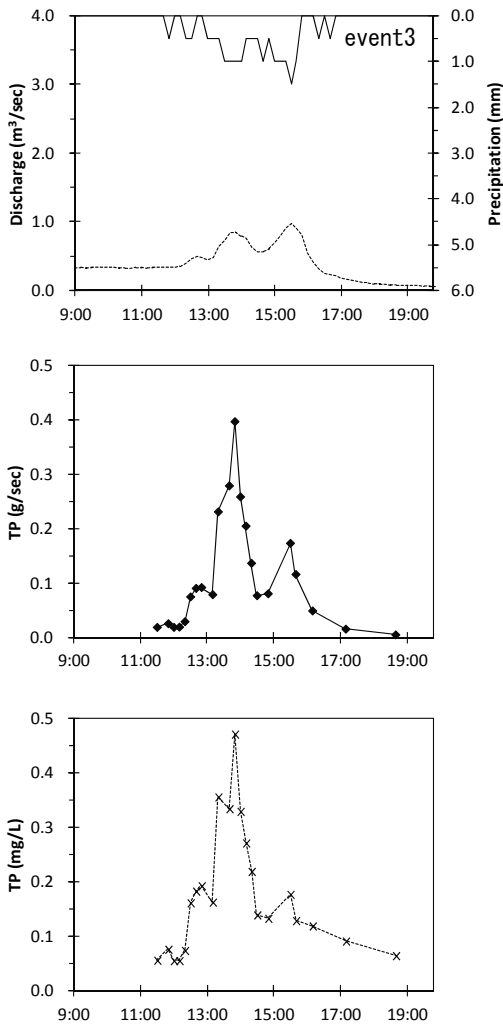


図2c event3における降水量，流量および全リン量と全リン濃度の変化。

上段：流量，降水量 中段：全リン量 下段：全リン濃度  
 ——：降水量， - - - -：流量

### 3. 増水時における流量とリン量の関係

時系列データより降雨による流量の増加と共にリン量が増加することが明らかとなったため，図3にその両者の関係を示した。event 1では，流量の増減と共にリン量も増減することが確認された。event 2でも，event 1と同様に流量の増減と共にリン量も増減することが確認できた。event 3については，ピーク1，ピーク2とも流量が増減すると共にリン量も増減することが確認できた。このように，増水時にリン濃度が上昇する上昇については，東京の都市河川で観測した今野ら（2005）でも確認されている。山田ら（1999）は森林集水域における降雨時の水質調査より，降雨時における水質成分流出特性を4分類している。このうち，流量増加と共に多量に流出する物質として，懸濁成分（SS，全窒素，全リン）

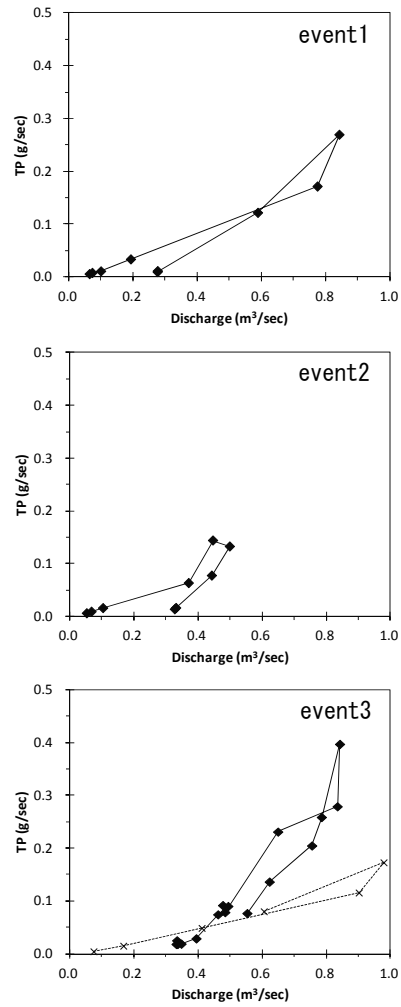


図3 降雨イベント毎の流量と全リン量との関係。  
 event 3：——：ピーク1， - - - -：ピーク2

や硝酸態窒素，溶存態有機炭素，溶存態リンを挙げており，リンが流量増加に伴い流出しやすいことを示している。その流出特性として，流域内にその成分が貯留していることも示唆しており，リンは流量増加と共にその発生源から河川へ供給されていると考えられる。

次に，event 3の特徴として，ピーク1の方がピーク2よりも流量とリン量との傾きが大きくなったことが挙げられる。このことは，ピーク2の方がピーク1よりも流量が大きかったが，リン量としてはピーク1の方が大きくなったことを示している。また今野ら（2005）も，連続した降雨による増水時において，全リン濃度は1つめのピークよりも2つめのピークの方が小さい現象を観測している。ここで，坂井ら（2008）が4河川中3河川の都市河川において流量増水期の方が流量減少期よりも全リン濃度が高くなることを報告しており，増水前半に

リン流出が大きくなることを示している。以上の報告結果と山田ら（1999）が示したリンの流出特性と合わせると、event 3の流量とリン量との関係は、増水により発生源に貯留されていたリンが流出し河川中のリン量は増加するが、その貯留量が減少するためその後の増水では河川へのリン供給量が少なくなったのだと考えられる。

## おわりに

降雨に伴う増水時に都市河川にて全リンの流出特性を把握するため、連続採水と発生源の検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 増水時における流量の増加に伴い、全リン濃度および全リン量は増加した
- 2) 連続した増水があった場合、同じ程度の流量であっても河川中のリン量は後半ほど減少する

以上より、豊田市内における都市河川においても、東京の都市河川流域と同じく増水時に多くのリンが流出することが明らかとなった。今後は、増水時に全リン濃度が増加する原因であるリンの発生源を明らかにするとともに、発生源からの流出過程を把握することにより、矢作川流域のリン負荷量の減少へと繋げられると考えられる。

## 謝辞

今回の研究においては、豊田市河川課より流域情報の提供や調査機器設置の許可申請手続きなどのお力添えをいただいた。ご協力いただいた皆様に心よりお礼申し上げます。

## 引用文献

- 脇岡靖明・古米弘明（2001）都市ノンポイント汚染負荷流出調査に基づく不浸透面堆積負荷流出モデルの検討。土木学会論文集, 685: 123-134.
- 井上隆信（2003）非特定汚染源の原単位の現状と課題。水環境学会誌, 26: 131-134.
- 伊勢湾再生推進会議（2007）伊勢湾再生行動計画: 8.
- 今野篤・二瓶泰雄・大竹野歩・水口陽介（2005）複数の都市河川における降雨時水質環境の比較解析。水工学論文集, 49: 1501-1506.
- 三河湾流域圏会議 HP Mikawa データベース（三河湾流域圏環境情報総合サイト）三河湾流域圏の現状-海に関する事項-水質: (<http://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/kaigi/mikawawan/mikawadb/pageA-4-2.html>)
- 坂井文子・二瓶泰雄・江原圭介・臼田美穂・重田京助・大塚

- 慧（2008）江戸川・荒川・多摩川・中川における出水時栄養塩・COD 負荷特性。水工学論文集, 52: 1117-1122.
- 高岡広樹・戸田祐嗣・辻本哲朗（2010）1950年と2004年における矢作川流域からの流出負荷量について。水工学論文集, 54: 1375-1380.
- 豊田市役所 河川現況調査表 河川台帳（1996）東京建設コンサルタント: 478-481.
- 村馬孝治・井上隆信・藤田邦彦・金子悠司・青木伸一・陸真姫・山田俊郎（2008）猪鼻湖堆積物の形態別リンの分布特性。環境工学研究論文集, 45: 517-523.
- 山田俊郎・清水達雄・井上隆信・橋治国（1999）降雨時における森林集水域からの水質成分負荷流出特性。36: 217-224.
- 和波一夫・嶋津暉之（2002）都市河川の雨天時汚濁の実態。水環境学会誌, 25: 529-532.

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1) 豊田工業高等専門学校 環境都市工学科:<br/>〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1</li><li>2) 豊田市役所 上下水道局:<br/>〒471-0024 豊田市元城町3-17<br/>豊田市役所元城仮庁舎（旧加茂病院）</li></ol> |
|--|