

[資 料]

揖保川流域における降雨時の窒素, りん負荷量の調査

古賀 佑太郎¹ 鈴木 元治¹ 宮崎 一¹ 藤森 一男¹

¹ 兵庫県環境研究センター 水環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-18)

Nitrogen and Phosphorus loads in the basin of Ibo River during Rainfall

Yutaro KOGA¹, Motoharu SUZUKI¹,
Hajime MIYAZAKI¹ and Kazuo FUJIMORI¹

¹ Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,
3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

揖保川流域の本流及び支流において、降雨時の河川水中の全窒素と全りん、また各々の溶存有機態と溶存無機態の負荷量を求め、非降雨時のそれらと比較した。本調査では降雨時の揖保川流域の面源負荷を把握するための「流域調査」と、降雨時に揖保川から瀬戸内海へ流入する負荷量の経時変動を把握するための「経時変動調査」を実施した。「流域調査」では、揖保川流域の各調査地点の集水域面積や土地利用の違いによる窒素, りんの流出負荷量の差異が確認された。「経時変動調査」では非降雨時と比較して負荷量が増大したほか、調査時の積算降水量に加え、調査日より数日前の降水量によっても影響されることが示唆された。

I はじめに

瀬戸内海では、水質汚濁防止法や瀬戸内海環境保全特別措置法等の規制や対策により、陸域からの汚濁負荷量が削減され、水質が改善された。一方で、瀬戸内海の播磨灘においては近年ノリの色落ちや漁獲量の減少が見られ、貧栄養化したとも言われている¹⁾。これに関連して、平成27年10月に一部改正された瀬戸内海環境保全特別措置法の附則に、瀬戸内海における栄養塩類(窒素・りん)の適切な管理等の調査及び研究に関する条項が追加される²⁾など、栄養塩類の挙動についてより関心が高まっている。

一般的に、大気中や地表面の窒素, りんは降雨により地下水や河川に流入することが知られている³⁾が、各自治体等で蓄積されている常時監視データは、非降雨時に調査するため、降雨時のデータはほとんどない。そこで、本調査では、瀬戸内海に流入する兵庫県内の一級河川である揖保川流

域の本流及び支流において、降雨時の全窒素と全りん、また、それぞれの溶存有機態と溶存無機態の分析を行い、降雨時に陸域から海域に流入する窒素及びりんの負荷量の実態把握を行うことを目的とした。

II 方 法

1. 調査方法

降雨時の揖保川流域の面源負荷を把握するための「流域調査」と降雨時に揖保川から瀬戸内海へ流入する負荷量の経時変動を把握するための「経時変動調査」を実施した。Fig.1に各調査地点と観測所を示す。

1.1 流域調査

揖保川流域の本流4地点(上流から、宍粟橋(St.1)、嘴崎橋(St.2)、龍野橋(St.3)及び揖保川工業用水水道取水堰下流(St.6))、及び林田

川2地点（永久橋（St.4），真砂橋（St.5））において、各降雨イベントの降雨中または降雨後に、橋の上から塩化ビニル製バケツを用いて計6イベント分の表層水を採水した。

1.2 経時変動調査

揖保川下流に位置する、St.6において自動採水器（6712型ウォーターサンプラー（日科機バイオマス(株)製））を用いて計4イベント分を採水した。自動採水器は降雨開始直後に起動し、2時間毎に採水を実施し、24時間採水した。

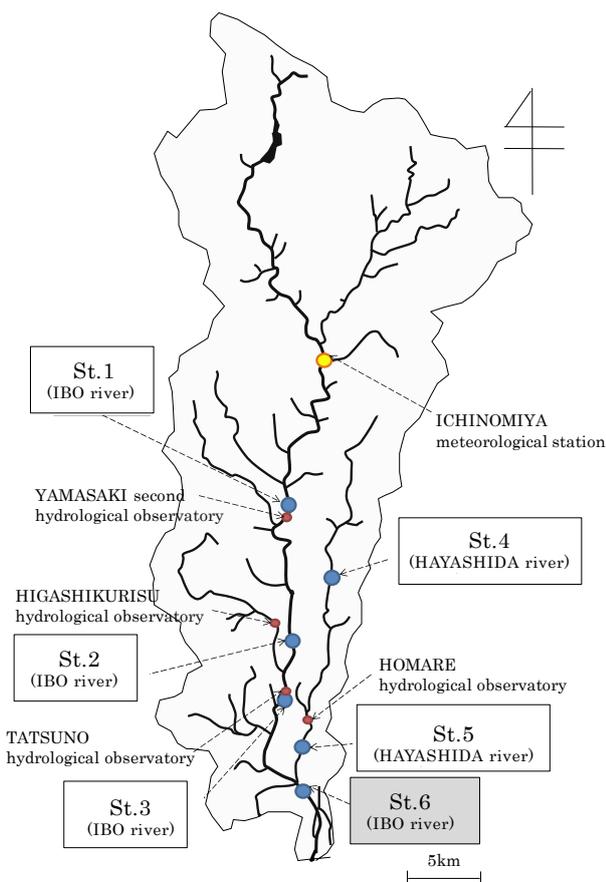


Fig.1 Location of sampling stations in the Ibo river basin

2. 分析項目

分析項目は、全窒素 (TN), 溶存態全窒素 (DTN), アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 全りん (TP), 溶存態全りん (DTP) 及びりん酸態りん ($\text{PO}_4\text{-P}$) とし、連続流れ分析装置 (QuAAtro (ピーエルテック(株)製)) を用いて分析した。なお、溶存無機態窒素 (DIN) は $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の和、溶存有機態窒素 (DON) は DTN と DIN の差、溶存無機態りん (DIP) は $\text{PO}_4\text{-P}$ の値、溶存有機態

りん (DOP) は DTP と DIP の差、懸濁態全窒素 (PTN) は TN と DTN の差、懸濁態全りん (PTP) は TP と DTP の差とした。

3. 調査日時

各調査日を Table 1 に示し、採水日2日前からの気象庁一宮観測所における積算降水量及び採水時間を Fig.2 に示す。

Table 1 Sampling dates

Event	Year	Research of the basin at St.1-6	Research of change over time at St.6
1		Aug.29	—
2		Sep.29	—
3	2016	Nov.15 11:00	Nov.14 12:00- Nov.15 10:00
4		Dec.14 15:00	Dec.13 14:00-Dec.14 12:00
5		Jan.31	Jan.30 11:00-Jan.31 9:00
6	2017	Feb.23	Feb.22 11:00-Feb.23 9:00

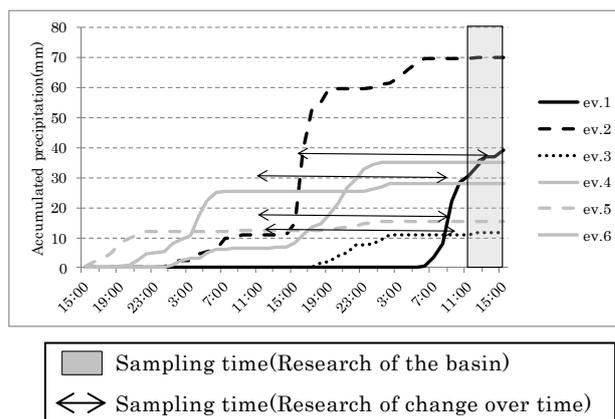


Fig.2 Sampling time and precipitation at Ichinomiya meteorological station

4. 解析概要

分析により得られた水質濃度データより負荷量と降雨との関係を解析するために国土交通省水文水質観測所及び気象庁一宮観測所から、それぞれ流量データ及び降水量データを入手した。

流量については、St.1は山崎第二観測所、St.2は龍野観測所、St.5は菅観測所のデータを使用した。また、St.4上流の塩野観測所をはじめ、数地点の観測所でデータが欠測であったため、St.4は菅観測所、St.2は龍野観測所と東栗栖観測所の差、St.6は龍野観測所と菅観測所の和を流量として扱った。なお、地下浸透については考慮していない。

非降雨時のデータについては、平成23年度から平成27年度までの常時監視データ⁴⁾を使用し、本調査を実施した8月から2月の7か月間の平均値を用いることとした。また、降雨時の負荷量と土地利用状況の関連性を調べるため、国土交通省の国土数値情報100mメッシュデータを用い⁵⁾、各支流の集水域（平成21年度版）の土地利用（平成26年度版）ごとの面積を求めた。

Ⅲ 結果および考察

1. 調査結果

1.1 流域調査結果

流域調査における各地点の窒素負荷量及びりん負荷量を各イベントの積算降水量とともにFig.3及びFig.4にそれぞれ示す。非降雨時は、測定データが限られていたためTNとTPのみを示した。イベント3のSt.1、イベント3, 4, 5, 6, のSt.4, St.5, 非降雨時のSt.2は流量が欠測であった。

全体を通して、降雨の影響によるTN, TP負荷量の上昇が認められた。最も増加量が多かったのは、イベント2のSt.6であり、TNが870kg/dから27,000kg/dの約31倍、TPが40mg/Lから2,400kg/dの約60倍に増加した。イベント2の積算降水量は、本調査の中で最も多く、70mmであった。

一方、積算降水量の少なかったイベント3は、11.5mmの積算降水量があったが、非降雨時と比べても、負荷量の差がほとんどみられなかった。このことから、イベント3では、降水が地表面で保持されたこと等により、河川への流出負荷量が少なかったことが推測され、負荷量の増加には一定量以上の降水量が必要であることがわかった。

Fig.5に各調査地点間の河川区間における集水域の用途別土地利用面積を示す。例えば、最上流のSt.1の土地利用面積はSt.1の集水域面積を対象としており、St.2では、St.1と嘴崎橋St.2の間の集水域面積を対象とした。

各調査地点の集水域面積は、揖保川本流の最上流であるSt.1が最大であった。St.1は、ほとんどが森林で占められていた。

このことにより、St.1の降雨時の窒素及びりんの負荷量が非降雨時と比べてほとんど増加しなかったのは、降水が森林に保水され、流出が抑えられたためと考えられる。

一方で、集水域面積が最小であったSt.5は森林面積も比較的小さく、田や建物用地やその他の面

積割合が大きかった。このことにより、St.5及びその下流のSt.6において、有機態のDON及びDOPの負荷量が他の地点と比べて多かったのは、虫の死骸等に由来する有機物が土壌中で無機化されずにアスファルト等の表面より流出したと考えられる。

林田川最上流のSt.4は、直近の観測所の流量データが欠測であり、流量を菅観測所のデータを使用していることもあり、負荷量が大きくなったと考えられる。

以上のように、集水域のうち、森林や農地などの土地利用の種類及び面積の差により、降雨による流出負荷量に違いがあることがわかった。

1.2 経時変動調査結果

経時変動調査における態別窒素の負荷量と態別りんの負荷量、時間降水量と非降雨時の負荷量をイベントごとにFig.6（窒素）及びFig.7（りん）に示す。また、グラフ下部にはイベント番号とそのイベント時の積算降水量を記載した。なお、時間降水量は一宮観測所の一時間値⁶⁾を用いた。

窒素については、降雨の影響を受けてPTN, DON, DINが増加したが、DINの増加が顕著であった。負荷量の増加が大きかったイベント6では、負荷量のピークから下がり始める時に、DINと比べてPTNの急激な減少がみられた。このことから、粒子状物質は速やかに流下または沈降し、溶存成分は降雨後も比較的長く河川水質に影響を与えることがわかった。りんについても同様に、降雨の影響を受けてPTP, DOP, DIPがいずれも増加したが、特にPTPの増減が著しく、りんは粒子状物質に吸着して流出しやすいことが認められた。

一方、積算降水量の少なかったイベント3は前述した流域調査と同様で非降雨時と比べても、負荷量の差がほとんどみられなかった。

窒素、りんの濃度変化の傾向に差が見られたイベント5では、窒素についてはDIN負荷量が流量に比例して増加したが、りんについては負荷量の増加は大きくなかった。窒素とりんの吸着過程の違いにより、それぞれが流出するために必要な積算降水量の差や、時間降水量（降雨強度）に差があることが示唆された。

積算降水量が35.0mmのイベント4と積算降水量が28.0mmのイベント6を比較すると、積算降水量が少ないイベント6の方が流量の増加に伴い、窒素、りんともに負荷量の流出が大きくなった。

河川の降雨流出には、直前の降雨も関係すると言われており⁵⁾、直前の降雨との関係について2015年の降水量データ⁴⁾と気象データ⁶⁾を用いて調査した。

Table2に2015年の降雨イベント時の積算降水量及び直接流出量*とその降雨イベントから7日前までの各日の降水量を示す。また、Fig.8に積算降水量と直接流出量との関係を示す。なお、イベント6の7日前からの積算降水量が26.5mmであったことから、イベントの7日前からの積算降水量20mm以上を直前の降雨の影響を受ける目安とした。Fig.8より、直前に降雨があると、その影響を受け、他の同程度の降水量のイベントと比較して、流量が大きく増加することが分かった。

このことが、7日前からの積算降水量が26.5mmの降雨のあったイベント6の流量が大きく増加した原因の一つと示唆された。また、イベント4に比較してイベント6ではPTN、PTPの増加が顕著に見られ、これはイベント6の直前の降雨によりに土壤が飽和し、イベント6での雨水が集水域表面から土砂を伴って流出したと考えられる。また、DON、DOPについても同様に土壤に保水されず、表面から流出したことで無機化されずに流出したと考えられる。このように栄養塩類の形態別の流出過程も直前の降雨により影響を受けると考えられる。

※直接流出量は、降雨の影響を受けて流量が増加した時の流量と、降雨後に流量が減少し、安定した時の流量の平均値を基底流量とし、総流量と基底流量の差とした。

IV 結論

本調査は、揖保川流域において、データの蓄積が少ないと考えられる降雨時の河川水中の窒素、りん.analysisを行い、降雨時に陸域から海域に流入する窒素、りんの負荷量を解析することを目的として、流域調査及び経時変動調査を実施した。

流域調査では、一定量以上の降雨があった場合に、窒素、りんの負荷量の増加が認められた。また、各調査地点の集水域面積と土地利用面積を解析した結果、森林や農地などの面積の差により降雨による流出負荷量に違いがあることが明らかとなった。

次に、経時変動調査では、負荷量のピークから下がり始める時、粒子状の窒素、りんが速やかに低下した、一方でDINは高い負荷量を維持してい

た。また、直前の降雨により、直接流出量と栄養塩類の形態別流出負荷量が大きく影響を受けることが示唆された。

これらの結果から、揖保川における降雨時の窒素、りんの負荷量に関する基礎的な知見が得られた。今後は、本調査の継続を通じて多様な降雨パターンに対する負荷量の応答や、流下条件が異なる河川での同様の調査による負荷量変動の把握により、データを蓄積し、陸域から瀬戸内海に流入する窒素、りんの降雨時の挙動について解明する必要がある。

文献

- 1) 山本民次, 花里孝幸:海と湖の貧栄養化問題, p. 55-57, 地人書館, 東京 (2015)
- 2) 環境省:瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律の概要 (2015), http://www.env.go.jp/water/heisa/setonaikai_law_rev/kaiseiho-gaiyo.pdf (参照2016.6.15)
- 3) 大垣 眞一郎, 財団法人河川環境管理協会: 河川と栄養塩類, p. 142-152, 技報堂, 東京 (2005)
- 4) 兵庫県:公共用水域の水質測定結果報告書 (2011~2015年度版)
- 5) 国土交通省:国土数値情報ダウンロードサービス (参照2017.9.20)
- 6) 気象庁:過去の気象データ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (参照2017.9.20)

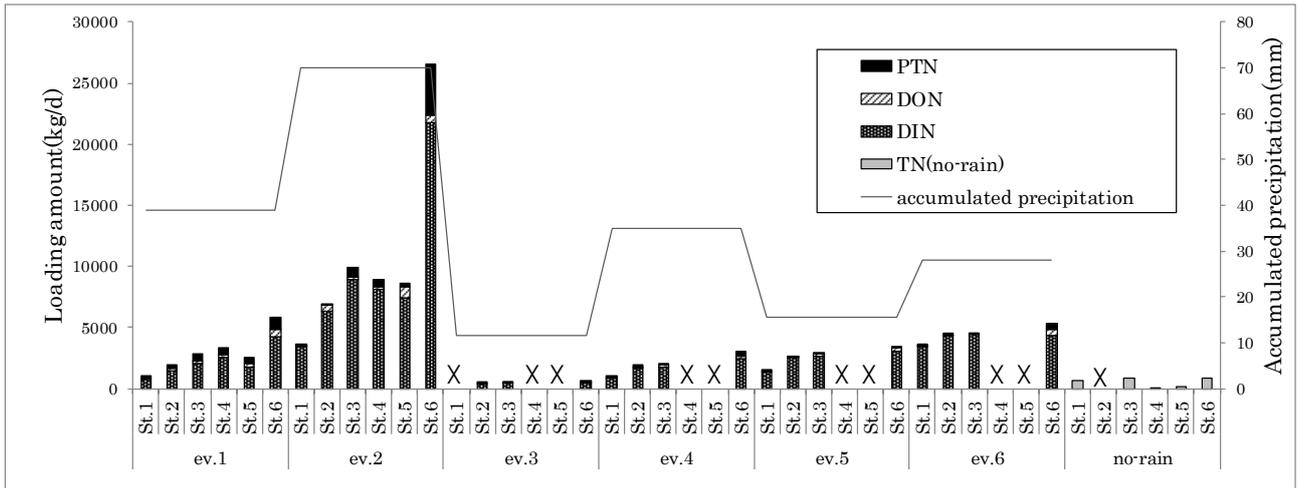


Fig.3 Nitrogen load and accumulated precipitation (Research of the basin)

×:missing value

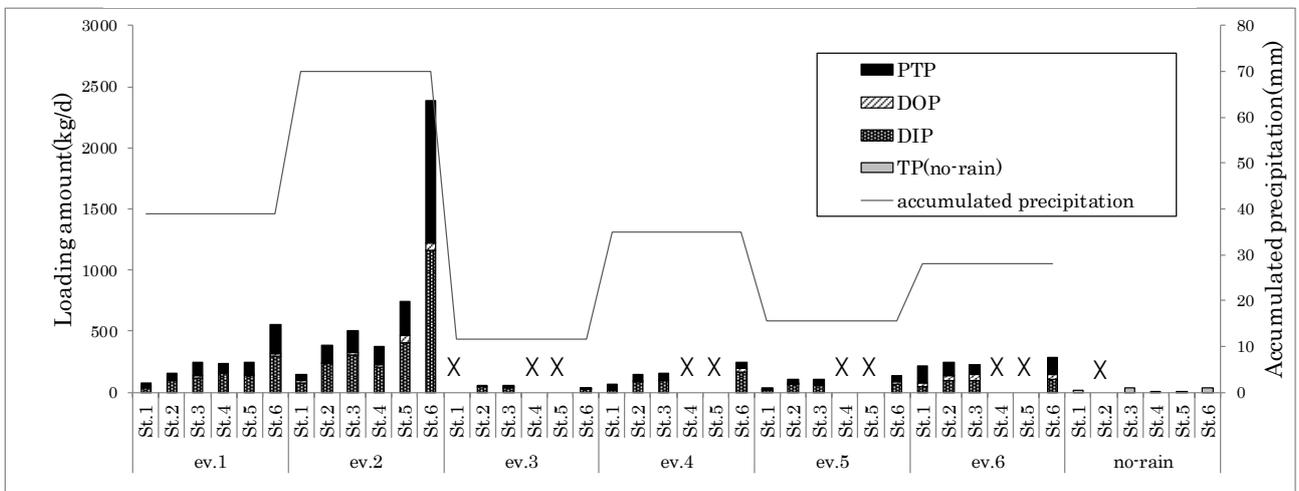


Fig.4 Phosphorus load and accumulated precipitation (Research of the basin)

×:missing value

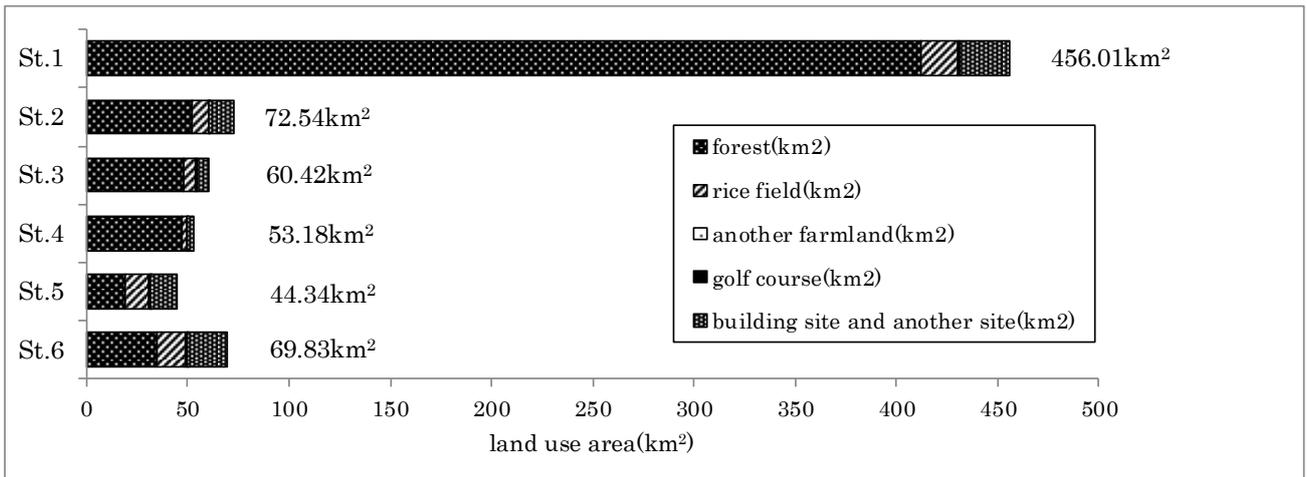
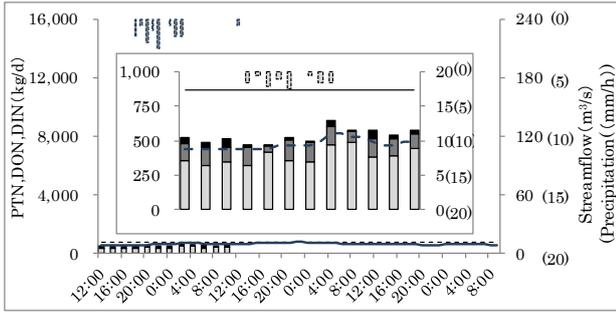
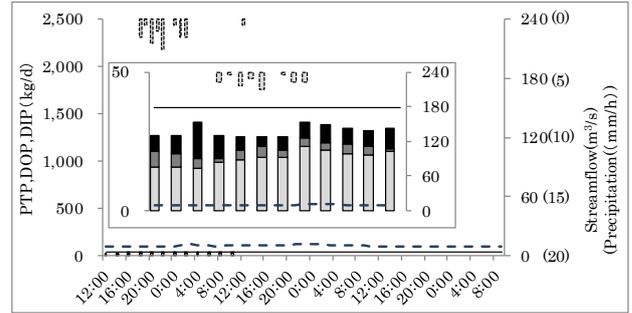


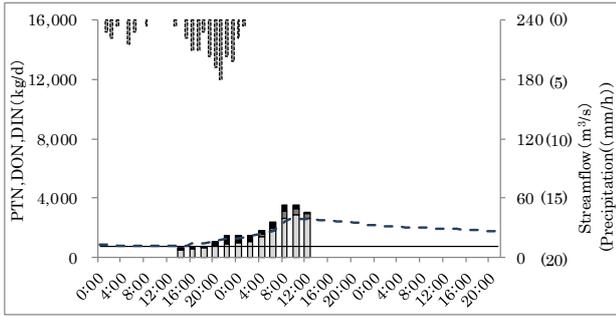
Fig.5 Land use area in catchment area between sampling station



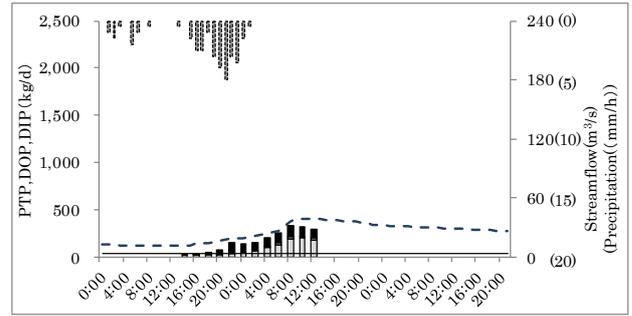
ev. 3 (11.5mm)



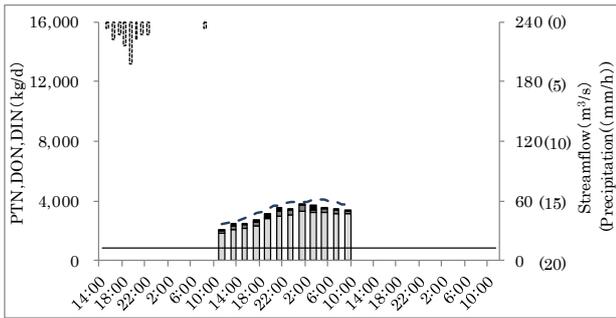
ev. 3 (11.5mm)



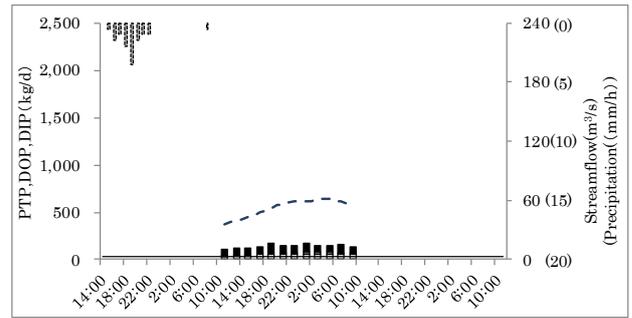
ev. 4 (35.0mm)



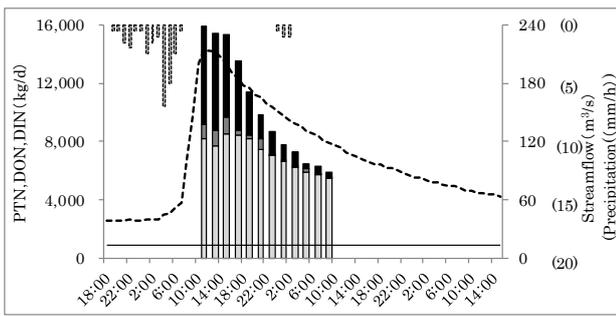
ev. 4 (35.0mm)



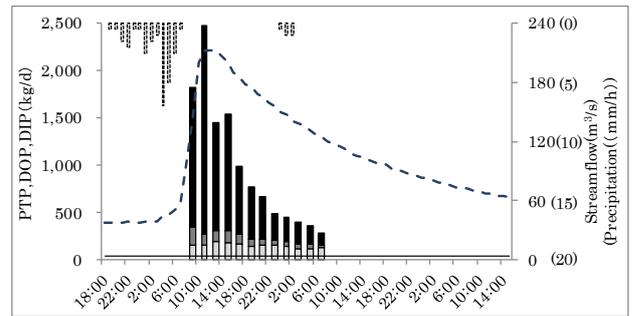
ev. 5 (15.5mm)



ev. 5 (15.5mm)



ev. 6 (28.0mm)



ev. 6 (28.0mm)

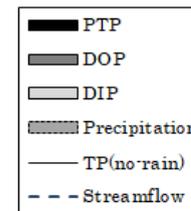
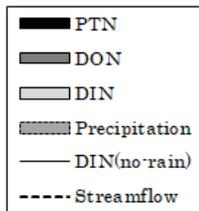


Fig.6 Nitrogen, precipitation and stream flow at St.6
(Research of change over time)

Fig.7 Phosphorus, precipitation and stream flow at St.6
(Research of change over time)

Table 2 Precipitation and direct runoff in rainfall events

Event	Year	Date	Accumulated precipitation(mm)	Direct runoff (m ³)	Before the event precipitation(mm)						
					1day ago	2days ago	3days ago	4days ago	5days ago	6days ago	7days ago
	2015	1/6~1/13	17.0	1300	0	0	3.5	7.5	19.0	0	7.5
		1/15~1/19	42.5	1100	0	0	5.0	1.0	0.5	0.5	0.5
		2/5~2/6	4.5	79	0	0	0	0.5	3.0	10.0	0
		2/17~2/21	16.5	93	0	0	4.0	1.0	0.5	0	0
		2/22~2/28	26.0	1500	0	0	4.5	4.0	8.0	0	0
		5/3~5/6	11.5	100	0	0	0	0	0	0	0
		5/18~5/22	44.0	2100	0	14.0	0	0	0	48.0	0
		5/30~5/31	3.0	50	0	0	0	0	0	0	0
		6/3~6/5	42.5	560	0	0	0	3.0	0	0	0
		6/17~6/24	42.5	1100	0	0	0	0	4.0	9.5	0
		7/7~7/14	30.0	910	0	1.0	19.5	0	0	54.5	0
		7/28~8/4	24.5	1000	0	0	0	0	24.5	29.0	0
		8/8~8/12	37.5	210	0	0	0	0	0	0	0
		9/6~9/16	88.5	5500	0	0.5	0	3.0	62.5	1.5	12.0
		9/16~9/17	25.5	450	0	0	0	0	0	0.5	19.5
		9/24~9/25	48.5	1700	0	0	0	0	0	0	25.0
		10/1~10/9	54.0	2400	0	0	0	0	0	20.0	28.5
		10/27~10/29	19.0	87	0	0	0	0	0	0	0
	11/1~11/3	14.0	65	0	0	0	0	19.0	0	0	
	11/7~11/11	37.5	500	0	0	0	0	13.0	1.0	0	
	12/2~12/5	28.5	740	0	3.0	0	0	0	0	0.5	
ev.3	2016	11/14~11/15	11.5	—	0	0	0.5	0	0	0.5	0
ev.4		12/13~12/14	35.0	—	0	0	0	1.5	0	0	0
ev.5	2017	1/30~1/31	15.5	—	0	0	0	0	5.0	5.5	0
ev.6		2/23~2/24	28.0	—	5.5	4.0	10.5	1.0	0	5.5	0

※Bold shows 20mm or more in a week.

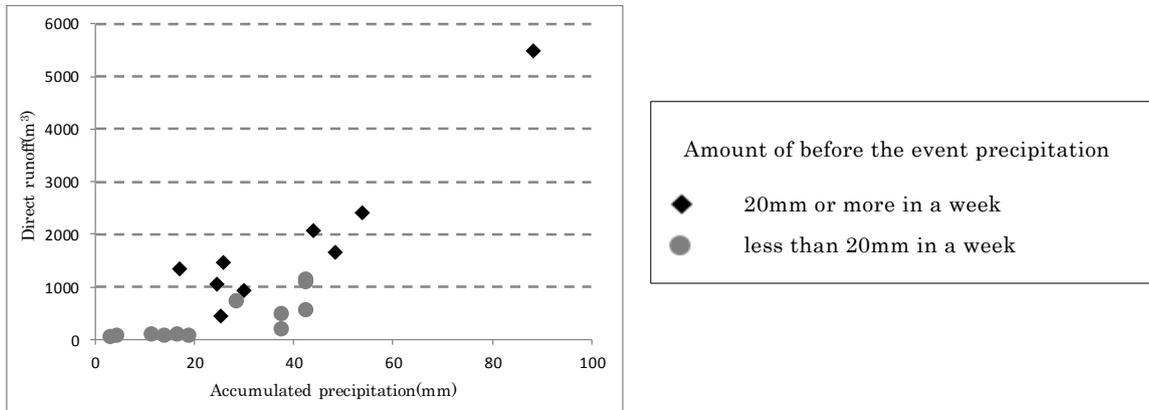


Fig. 8 Relationship with accumulated precipitation and direct runoff