

[資 料]

加古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 宮崎 一¹ 藤森 一男¹ 松林 雅之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-load in the basin of Kako River during rainfall

Yutaro KOGA¹, Hajime MIYAZAKI¹,
Kazuo FUJIMORI¹ and Masayuki MATSUBAYASHI¹

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

加古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、非降雨時の負荷量と比較した。本調査では降雨時の加古川流域の面源負荷を把握するための「流域調査」と、降雨時に加古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、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示唆された。「経時変動調査」では、本調査で最大の積算降水量であった 64.5mm の降雨イベントで、負荷量が非降雨時と比べて、全窒素では約 13.5 倍、全りんでは約 38.3 倍、となる結果が得られた。

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、近年ノリの色落ちや漁獲量の減少が見られ、瀬戸内海が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(りん・窒素)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加古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、非降雨時の負荷量と比較することにより、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

降雨時の加古川流域の面源負荷を把握するための「流域調査」と降雨時に加古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。なお、本調査における非降雨時のデータは、平成21年度から平成25年度までの兵庫県の常時監視データ⁴⁾のうち、本調査の時期と合わせるため、8月から2月までの値を平均して用いた。また、支流毎の土地利用状況は、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)に、土地利用データ(平成26年度版)を割り当てた。

2. 採水方法

Fig.1に加古川流域における本流及び支流の採水地点と気象庁西脇観測所の位置を示す。

2.1 流域調査

加古川流域の本流3地点(上流から, 板波橋 (IT), 大住橋 (OH), 池尻橋 (IK)) 及び, 支流末端4地点(千鳥川:平安橋 (HE), 東条川:古川橋 (FU), 万願寺川:西脇橋 (NI), 美囊川:美囊川橋 (MI)) においてTable 1に示す日に, 計6回採水した。

2.2 経時変動調査

加古川下流に位置する, 中西条浄水場内原水計器室 (NA) において取水した河川水を, Table 1に示す日に, 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5回採水した。なお, イベント2, 3, 4は24時間 (2時間間隔), イベント5, 6は48時間 (4時間間隔) の採水を実施した。

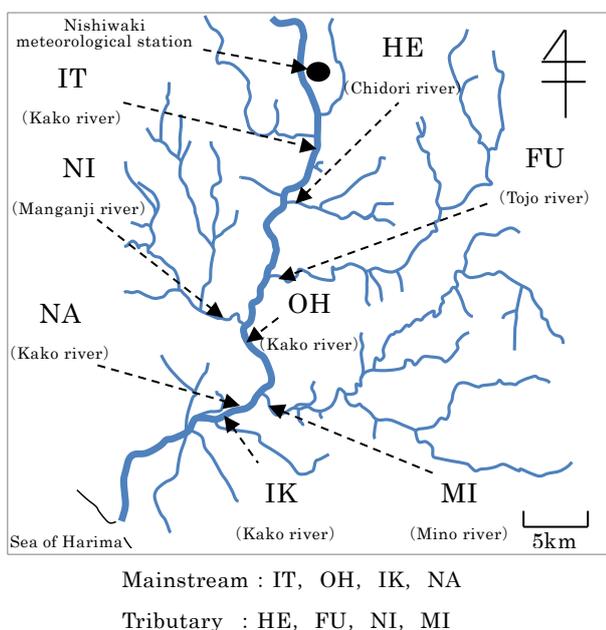


Fig.1 Location of sampling points in river

Table1 Sampling dates

Event	Year	Research of the basin	Research of change over time
1		Aug.20	—
2	2015	Sep.17	Sep.16-17
3		Oct.28	Oct.27-28
4		Nov.18	Nov.17-18
5	2016	Jan.31	Jan.29-31
6		Feb.15	Feb.13-15

3. 分析方法

分析項目は, 全窒素 (TN), 溶存態全窒素 (DTN), アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 全りん (TP), 溶存態全りん (DTP), りん酸性りん ($\text{PO}_4\text{-P}$) とし, 連続流れ分析装置 (QuAAtro (ビーエルテック(株)製)) を用いて分析した。また, 溶存無機態窒素 (DIN) は $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 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。

III 結果および考察

1. 降水量

採水日3日前からの気象庁西脇観測所における積算降水量をFig.2に示す⁶⁾。

積算降水量は概ね 40mm から 70mm 程度であったが, イベント3のみ 10mm と少なかった。なお, 降雨終了から採水までの時間は, イベント1, 2が4時間以内, イベント3, 4が12時間以内, イベント5, 6が30時間から35時間であった。

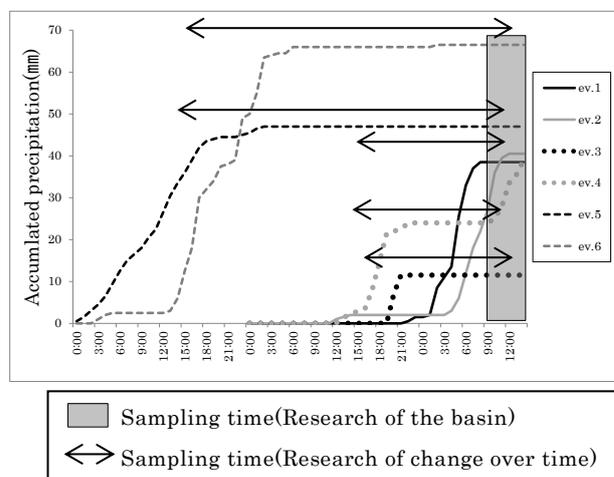


Fig.2 Sampling time and precipitation

2. 調査結果

2.1 流域調査結果

Fig.3に窒素の, Fig.4にりんの各地点のイベント毎及び非降雨時の負荷量と積算降水量を示す。なお, 非降雨時は, 測定データが限られているためTNとTPのみを示した。

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。

積算降水量が約40mmと同程度であったイベント1, 2, 4を比較する。イベント2, 4に比べイベント1の負荷量が概ね大きかった。イベント1は採水直前に降雨が終了し、イベント2は採水中でも降雨があり、イベント4は採水前に一度降雨があり採水中でも降雨があった。これらのことから、降雨時間と採水時間の関係により、河川水中の負荷量に差が生じることがわかった。

また、イベント2と4を比較すると、特に窒素の組成が大きく異なった。9月のイベント2はDIN負荷量が大きくなったが、これは調査地点の後背地に農地が多く、農業活動がまだ行われていたためと考えられる。一方、11月のイベント4はDON負荷量が大きくなったが、これは農業活動が終わり、生物死骸の分解物等が由来であると推測される。

また、イベント5, 6については、イベント1より積算降水量が多かったが、DINを除く各項目で負荷量が小さかった。これは、採水時刻が降雨終了後30時間から35時間と遅く、この間で、面源からの負荷量流出のピークが過ぎたためであり、降雨直後の方が粒子やDIP等の流出が著しいと考えられる。一方で、DINは降雨後、時間が経過しても比較的負荷量が大きかったため、他項目よりも長時間にわたって河川水質に影響を与えていることが示唆された。

イベント3は、2時間程度の際に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。

ここで、イベント3以外の支流の負荷量を比較する。イベント1, 2, 4の支流の負荷量は、非降雨時と比べ、概ね大きかったのに対し、イベント5, 6は、非降雨時とほとんど変わらず小さかった。これは、イベント5, 6の降雨終了後から採水時刻までの時間が比較的長かったためであると考えられ、支流は降雨による負荷量上昇後、比較的速やかに低下することが示唆された。一方で、本流の負荷量は、イベント5, 6も非降雨時と比べ増加していた。このことより、降雨終了後、約30時間以上経過しても本流においては降雨による負荷量増加の影響が残っていることがわかった。

次に、Fig.5に各支流の集水域面積と、その土地利用面積を示し⁵⁾、支流の集水域面積と土地利用

面積による面源負荷の違いについて比較する。

平安橋では、どのイベントでも比較的負荷量が小さかった。これは、上流の千鳥川の集水域面積が他の河川に比べ、非常に小さかったためと考えられる。

古川橋では、上流の東条川の集水域面積が最も大きいにも関わらず流量が比較的少なく、負荷量も小さかった。逆に、西脇橋では、古川橋よりも流量が多く、負荷量が大きくなったが、これらは、それぞれの上流河川の森林面積に大きな差があり、降雨の保水能力に違いがあったことが推測される。

また、美囊川橋では、他の河川に比べ負荷量が概ね大きかった。これは、美囊川の流量が比較的大きかったことと、上流の水田及びその他農地の面積が最も大きく、肥料等の流出により窒素、りん濃度が高かったことが影響した結果であると推察される。

なお、イベント2は、西脇橋が他に比べて著しく負荷量が大きかった。これは、西脇橋のイベント2の採水時刻では、流量が前後の1時間値と比較して約2倍から4倍あり、一時的に流量が増加したためと考えられた。

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

2.2 経時変動調査結果

Fig.6~10に態別窒素の、Fig.11~15に態別りんの経時変動調査の負荷量と時間降水量をイベントごとに示す。なお、時間降水量は西脇観測所の1時間値⁶⁾を用いた。

本調査においては、降雨強度にもよるが、降雨開始から平均して10時間程度で負荷量が増加し始めた。窒素については、降雨の影響を受けてPTN, DON, DINのいずれも増加した。また、特に負荷量の増加が大きかったイベント6をみると、負荷量のピークが下がり始める時、PTNが急激に減少したが、DINは比較的緩やかに減少したことから、粒子状物質は速やかに流出または沈降し、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。一方で、りんについても同様に、降雨の影響を受けてPTP, DOP, DIPの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。これらは、2.1の流域調査でも同様の結果がみられた。

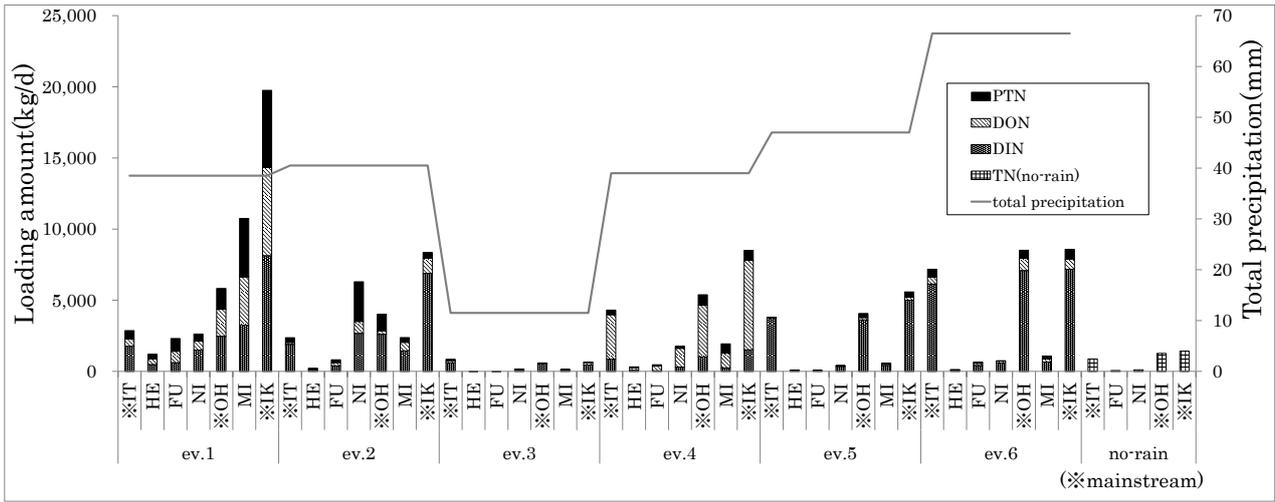


Fig. 3 Nitrogen load and accumulated precipitation (Research of the basin)

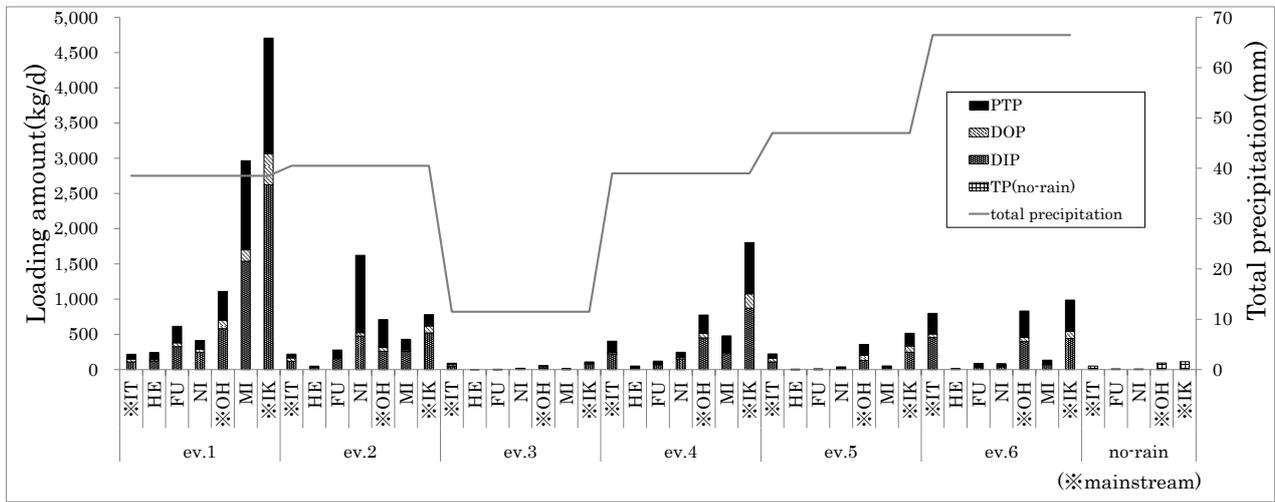


Fig. 4 Phosphorus load and accumulated precipitation (Research of the basin)

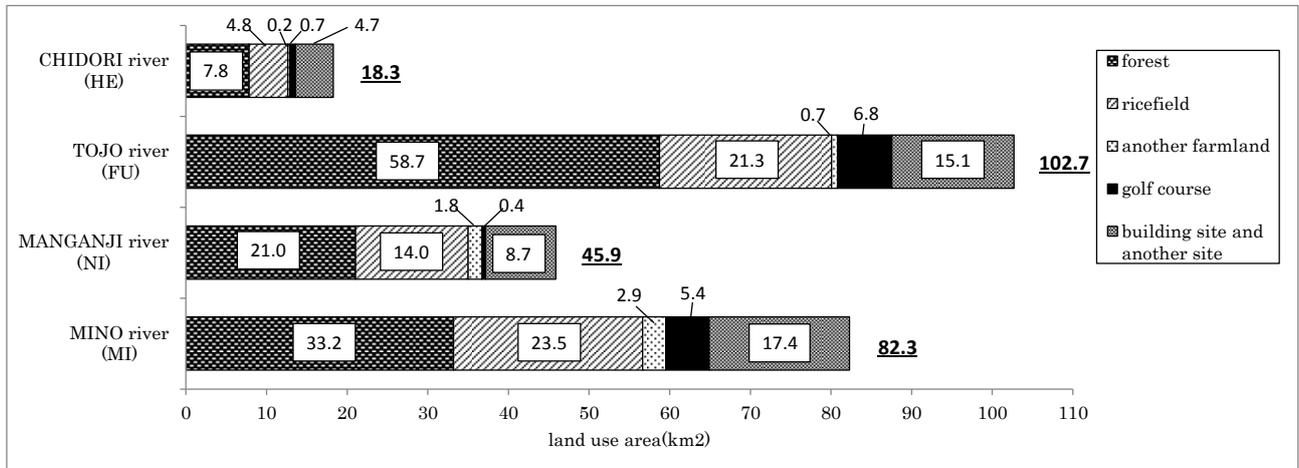


Fig. 5 Land use area in catchment area of tributary

次に、Table2, 3に降雨により負荷量が増加し、その後減少し安定するまで比較的測定できているイベント3, 5, 6の積算降水量及び窒素, りんの増加負荷量を示す。増加負荷量は、降雨により増加し始める前の負荷量と、減少し安定した時の負荷量の平均値を基底負荷量として算出し、それぞれの時間負荷量から基底負荷量を引いた値の合計値とした。そして、TN, DIN, TP及びDIPについては、この増加負荷量と、非降雨時の常時監視データ⁴⁾を比較し、増加率を以下の式(1)を用いて算出し、合わせて示した。なお、PTN, DON, PTP, DOPについては常時監視データが無いため比較していない。

$$R = \frac{(Li + Ln)}{Ln} \quad \dots \text{式 (1)}$$

{

R : 増加率, Li : 増加負荷量 (kg)

Ln : 非降雨時の平均負荷量 (kg)

}

最も積算降水量が多かったイベント6は、非降雨時に比べTNで約13.5倍、TPで約38.3倍の増加率であった。一方で、積算降水量が11.5mmと少なかったイベント3は、TNで約1.2倍、TPで約1.3倍の増加率であり、ほとんど負荷量の増加は見られず、これは、2.1の流域調査でも同様の結果がみられた。

窒素とりんの増加率を比較すると、りんの増加率の方が窒素より概ね高くなっており、非降雨時と比較した割合では、りんの方が降雨の影響を受け易かった。

TNとDIN, TPとDIPの増加率を比較すると、どのイベントでもTN, TPの増加率が高くなっており、ここでも溶存態に比べて粒子状の方が降雨による影響を受け易いことが示された。

IV 結 論

本調査は、加古川流域の本流及び支流において、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, りんの分析を行い、非降雨時の負荷量と比較することにより、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みられた。また、

支流では負荷量が降雨後速やかに低下する一方で、本流では約30時間以上経過しても影響が残っていることがわかった。さらに、各支流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わかった。

次に、経時変動調査では、加古川下流に位置する中西条浄水場内原水計器室において取水した河川水の分析の結果、降雨開始から平均10時間程度で負荷量が増加し始めた。負荷量のピークから下がり始める時、粒子状の窒素, りん及び溶存態りんが速やかに低下したが、溶存態窒素は降雨後も比較的長く河川水質に影響を与えていることが示唆された。また、窒素, りんの負荷量の増加率を算出した結果、最も降水量が多かったイベントにおいて非降雨時と比較して、全窒素が約13.5倍、全りんが約38.3倍となった。窒素とりんの増加率を比較すると、りんの方が降雨の影響を受け易いことが示唆された。

これらの結果から、加古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、他の河川で同様の調査を実施するなど、更に検討を重ね、データを蓄積し、陸域から流入する窒素, 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 (2009~2013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2016.12.9)
- 6) 気象庁: 過去の気象データ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (参照2016.6.15)

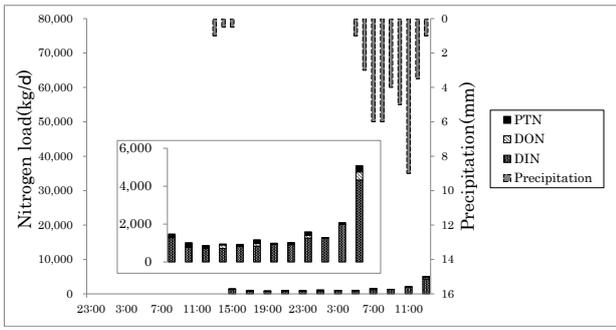


Fig. 6 Nitrogen load and precipitation(ev. 2)

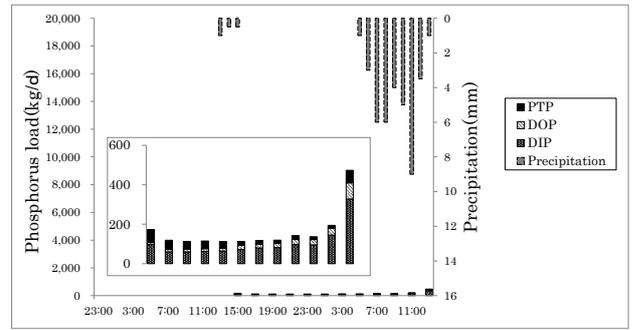


Fig. 11 Phosphorus load and precipitation (ev. 2)

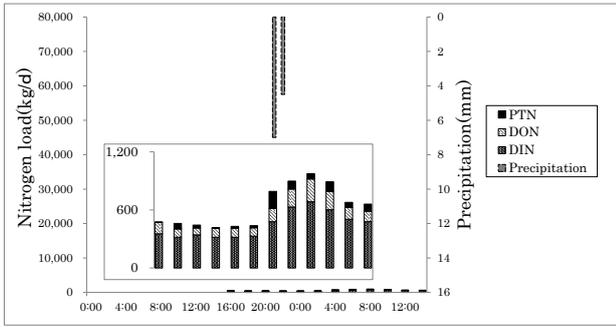


Fig. 7 Nitrogen load and precipitation(ev. 3)

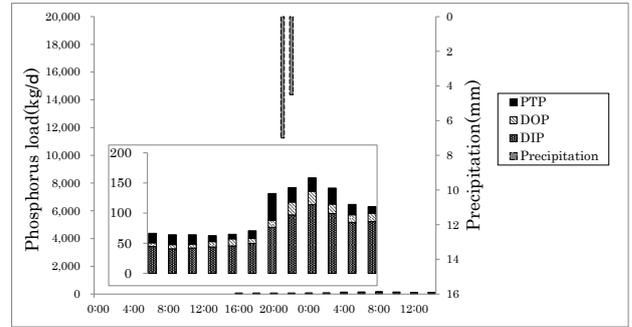


Fig. 12 Phosphorus load and precipitation (ev. 3)

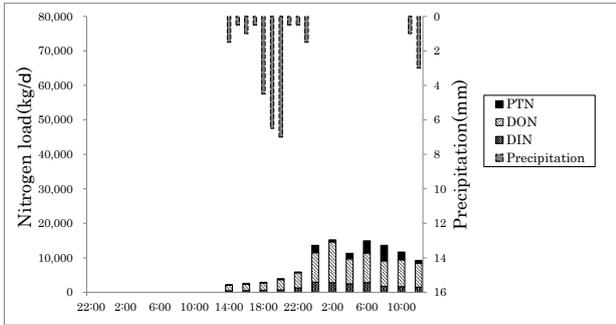


Fig. 8 Nitrogen load and precipitation(ev. 4)

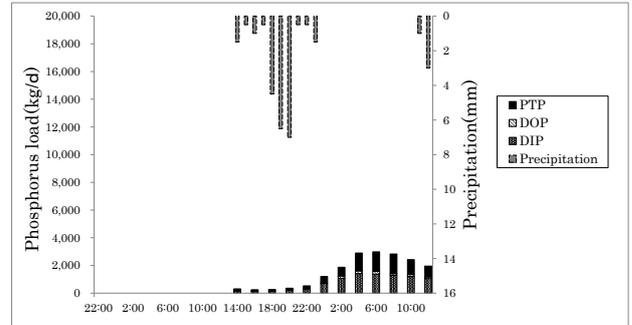


Fig. 13 Phosphorus load and precipitation (ev. 4)

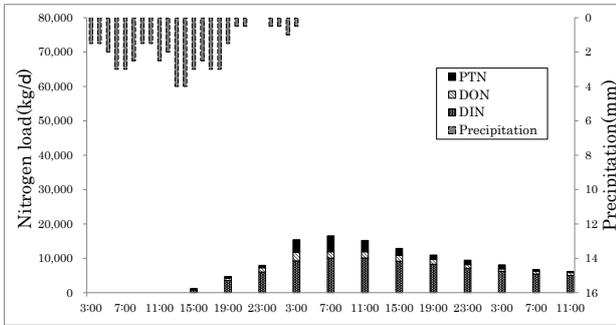


Fig. 9 Nitrogen load and precipitation(ev. 5)

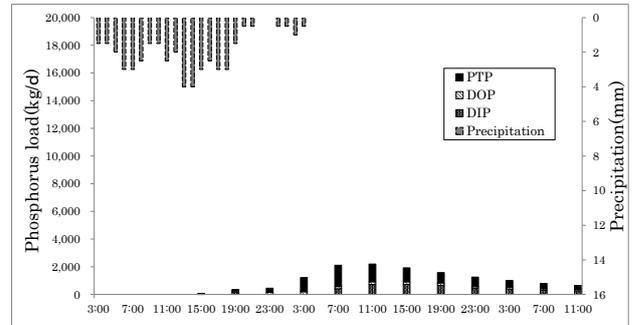


Fig. 14 Phosphorus load and precipitation (ev. 5)

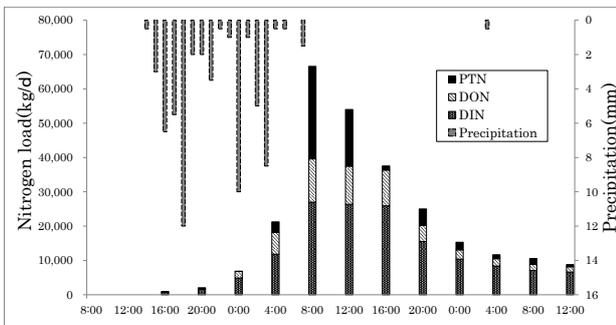


Fig. 10 Nitrogen load and precipitation(ev. 6)

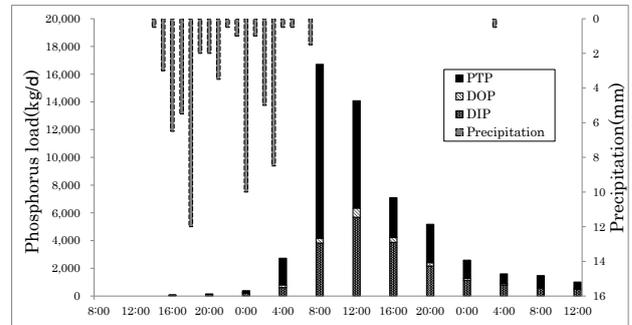


Fig. 15 Phosphorus load and precipitation (ev. 6)

Table 2 Increase of nitrogen load

TN	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	110	11,866	33,748
load in no-rain(kg)	659	2,696	2,696
increasing ratio	1.2	5.4	13.5

PTN	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	22	2,777	9,114

DON	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	28	1,445	7,628

DIN	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	61	7,644	17,006
load in no-rain(kg)	445	1,821	1,821
increasing ratio	1.1	5.2	10.3

Table 3 Increase of phosphorus load

TP	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	17	1,549	7,766
load in no-rain(kg)	51	208	208
increasing ratio	1.3	8.4	38.3

PTP	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	5	999	4,737

DOP	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	2	149	335

DIP	ev.3	ev.5	ev.6
total precipitation (mm)	11.5	48.5	64.5
increase of load (kg)	10	401	2,694
load in no-rain(kg)	29	120	120
increasing ratio	1.3	4.3	23.4