

[調査研究]

倉敷川流域の水量及びリン負荷量の推定

Water Quantity and Phosphorus Pollution Loading Amount Estimation of Kurashiki River Basin

藤田和男, 小川知也, 吉岡敏行 (水質科)

Kazuo Fujita, Tomoya Ogawa, Toshiyuki Yoshioka (Water Section)

要 旨

児島湖に流入する倉敷川流域の水量及びリン負荷量を調査した。児島湖に倉敷川経由で支流の丙川から流入する水量は $21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ と推計された。妹尾川からは児島湖樋門開放時と排水機場稼働時に合わせて $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ が流入すると推計されたが、それ以外の時間帯での流量は推計できなかった。倉敷川の全リン濃度の年平均値は上流部で 0.17 mg/L 、中流部で 0.26 mg/L 、下流部で 0.23 mg/L であり、中・下流部で流入する小河川や用排水路は $0.31 \sim 0.46 \text{ mg/L}$ と本川より高く、特に、かんがい期に $0.44 \sim 0.80 \text{ mg/L}$ と高かった。水質及び流量から推定されるリン負荷量は倉敷川中・下流部の丙川、都六区排水機場排水及び錦六区排水機場排水合わせて約 $28 \text{ t}/\text{年}$ と推計された。なお、妹尾川のリン負荷量は推計できなかった。

[キーワード：倉敷川, 流量, 全リン, 汚濁負荷量]

[Key words : Kurashiki River, Volume Flow Rate, Total Phosphorus, Pollution Loading Amount]

1 はじめに

指定湖沼である児島湖の水質は平成27年度にCOD (75%値) が 7.2 mg/L 、全窒素 (平均値) が 1.1 mg/L 、全リン (平均値) が $0.17 \text{ mg/L}^{1)}$ であり、環境基準値COD (75%値) 5 mg/L 、全窒素 (平均値) 1 mg/L 、全リン (平均値) 0.1 mg/L と比較すると、全窒素は環境基準値に近い値まで改善されたが、CODと全リンは未だに高く、特に全リンは近年、環境基準値の2倍近い値で推移している。

一方、児島湖への流入水の多くは笹ヶ瀬川と倉敷川から流入しており¹⁾、倉敷川は全リンの濃度が高く²⁾、児島湖の水質に与える影響が大きいと考えられている³⁾ が、倉敷川下流域へ流入する小河川等からのリン負荷量について検討された事例は認められない。児島湖の水質改善のため、倉敷川のリンの負荷量を検討するには水質とともに流量のデータも必要であるが、流速計や流量計による連続測定の実施には費用や設置許可等の困難な点がある。しかし、水位計による連続測定は比較的簡易に行えることや、既存の流量データが存在することから、本報では倉敷川流域の小河川、用排水路で水位データ等を用いた流量の推計を試み、流量と全リン負荷量について検討したので報告する。

2 調査対象および方法

2.1 調査地点及び概況

図1に示す倉敷川流域の河川、用排水路の14地点で、平成28年4月～平成29年3月まで月1回採水した。倉敷川は大きく3つの流域から成る³⁾。以降、図1に示すように、この小流域の区域に対応して、地点1から地点8 (倉敷川最上流部から稔橋) を上流部、地点9から地点10 (稔橋から倉敷川橋) を中流部、地点11から地点14 (倉敷川橋から倉敷川河口部) を下流部と呼ぶこととする。

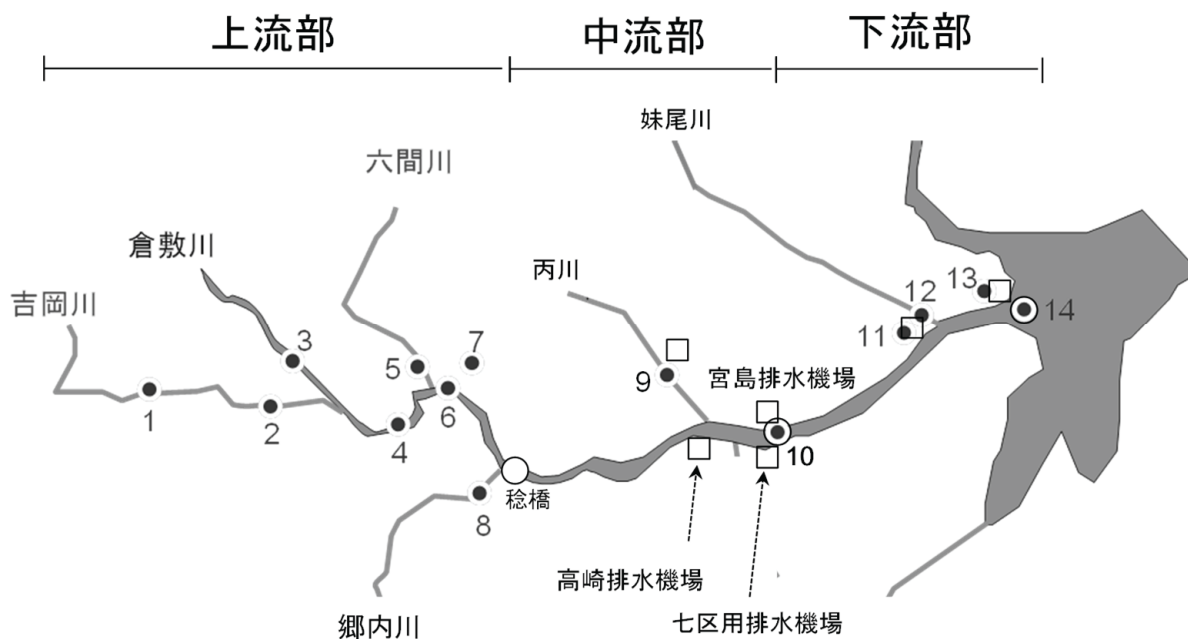
また、調査地点を倉敷川本川、支流の小河川及び用排水路の3つに分け比較するとき、倉敷川本川は上流部を地点6、中流部は地点10、下流部は地点14を代表点とし、上流部の小河川は地点1、地点2、地点5及び地点8の平均値、中流部の小河川は地点9、下流部の小河川は地点12とした。また、上流部の用排水路は地点7、下流部の用排水機場は地点11及び地点13の平均値とした。中流部では用排水路の測定を行っていない。このうち、地点11は農地である都六区 (面積440ha、うち水田300ha)⁴⁾ の排水路の水が集積する遊水池で妹尾川排水機場から倉敷川に排水される。地点12は妹尾川河口部で、倉敷川に直接流出する。妹尾川排水機場は都六区の排水と妹尾川の排水を行っているが、流入経路は堰堤で2系統 (都六区系と妹尾川系) に分かれており両者の水が混ざること無いため、都六区系を流入口付近の地点11、妹尾川系の流入口付近を地点12とした。妹尾川排水機場は都六区系の排水ポンプと、妹尾川系の排水ポンプから成り、以下では分かりやすくす

るために、都六区系を都六区排水機場、妹尾川系を妹尾川排水機場と呼ぶ。丙川排水機場は地点9、錦六区排水機場は地点13とした。

2.2 流量

現地では巻尺で川幅と水深を測定し、電磁流速計（東邦電探製TK-106X）により流速を測定した。小河川である妹尾川では児島湖樋門開放時の1～2時間を除きほとん

ど水が流れていなかった。また、丙川も測定値の変動が大きく、月1回の現地測定では正確な流速が求められないと考えられた。そこで、別途、児島湖樋門の開放時の両小河川の流速の速い時間帯に流速を測定すると同時に、水位の変化速度を測定し、両者の関係から児島湖樋門開放時における両小河川の流量を求めることとし、現地数時間、水位計（Daiki製DIK-611-A）を河床に静置して水位を測定した。流量を Q (m³)、水位を H (cm)、児島



地点番号	採水地点	本・支流別
1	吉岡橋	小河川
2	新浮州橋	小河川
3	粒榮橋	倉敷川本川
4	塩干橋	倉敷川本川
5	鶴城橋	小河川
6	茶屋藤戸橋	倉敷川本川
7	五間樋門上	用排水路
8	藤戸橋	小河川
9	丙川下流	小河川
10	倉敷川橋	倉敷川本川
11	都六区排水機場	用排水路
12	妹尾川下流	小河川
13	錦六区下流	用排水路
14	倉敷川河口部	児島湖

●:採水地点

○公共用水域水質調査地点²⁾

□:排水機場

丙川排水機場は地点9、妹尾川排水機場は地点11、錦六区排水機場は地点13に隣接した場所に存在する。

図1 調査地点

湖樋門開放時間を ΔH (hr) とし、流量と水位の変化速度との関係を、

$$Q = a \cdot (\Delta H / \Delta t)$$

とした。式中の $\Delta H / \Delta t$ (水位低下速度) は図2に示すように水位の傾き、 Q (流量) は現地の流速と断面積から求めた。係数 a は水位低下速度 ($\Delta H / \Delta t$) と流量 (Q) の比であり、この比を用いて児島湖樋門の水位低下速度⁵⁾ から児島湖樋門開放時の両河川の流量を推計した。水位及び流速の測定は平成29年4月26日～5月17日に妹尾川で8回、丙川で7回調査を行いデータを取得した。

また、倉敷川には7箇所の排水機場(丙川排水機場、妹尾川排水機場、都六区排水機場、錦六区排水機場、高崎排水機場、宮島排水機場、七区用排水機場)からの流入があり、各機場の稼働時間と排水量の記録³⁾ から水量を推計した。

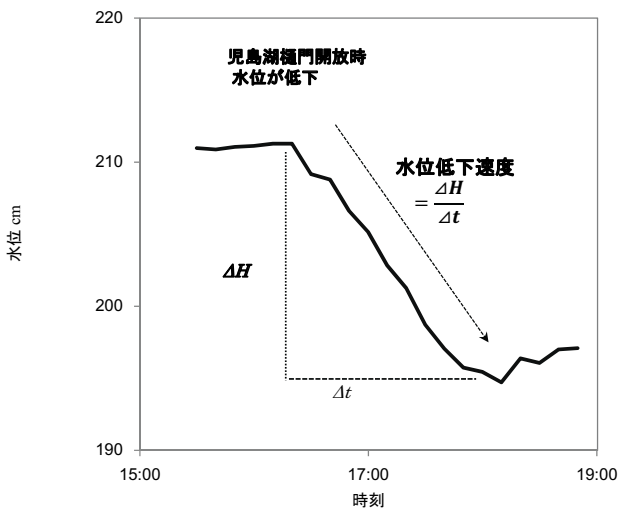


図2 水位低下速度

2.3 水質

採取した試料は、工場排水試験法JIS K0102⁶⁾ に準拠して全リン及びリン酸態リンを測定し、試料をろ紙(Whatman製GF/C)によりろ過して、ろ液の全リンを溶存態リン、全リンから溶存態リンを差し引いた値を懸濁態リンとした。

2.4 負荷量

各月の流量と水質を掛けて負荷量を推計した。

3 結果および考察

3.1 流量

現地での月1回の調査において、妹尾川と丙川の流速は測定時によって著しく異なっていた。したがって、両小河川の流量を(1)児島湖樋門開放時、(2)排水機場稼働

時及び(3)定常時(児島湖樋門開放時と排水機場稼働時以外の時間)の3つから成ると仮定し、それぞれについて検討した。

3.1.1 児島湖樋門開放時の流量

月1回の定常時の調査において、妹尾川では流速が全く無い状態であった。一方、児島湖樋門開放時に行った調査では両小河川とも概ね流速が10～20 cm/sと児島湖流域では比較的速く、両小河川の流速は児島湖樋門の開閉に強く依存して、児島湖樋門が開かれると児島湖の水位が低下し、流入河川の上流と下流に水位差が生じて、小河川の流速も発生すると考えられた。

図3に児島湖内の2地点(児島湖樋門と倉敷川水位観測所)⁵⁾ と2地点(丙川、妹尾川)の水位変化を示す。(3)定常時に上流からの流入水により各地点の水位が上昇していき、(1)児島湖樋門開放時に水位が低下した。年間を平均すると児島湖樋門の開放時間は1日に1～2時間、低下水位は10～20cm程度⁵⁾ が報告されており、今回樋門開放時に、2地点で水位計により測定した水位低下の継続時間と低下水位も概ね同等の値であった。

児島湖樋門開放時に丙川と妹尾川で測定した水位低下速度と、流速計と河川の断面積から求めた流量は正比例の関係が見られた(図4)。そこで、平成28年度の児島湖樋門操作記録⁵⁾ に記載されている操作時間と水位差から1日毎の水位低下速度を求め、水位低下速度と流量の関係式から、樋門の開閉操作による丙川と妹尾川の流量を推計することとした。ただし、児島湖樋門からの距離が大きくなるほど樋門操作の影響は緩くなり水位低下速度が減少すると考えられたことから、倉敷川での水位低下速度(年平均値)と樋門からの距離の関係を求めたところ、児島湖樋門から1 km離れると水位低下速度が約2.4%減少していた(図5)。これが丙川と妹尾川にも当てはまると仮定して、流量の推計値を補正した結果、児島湖樋門開放時の丙川の流量は 3.7×10^6 m³/年、妹尾川の流量は 7.4×10^6 m³/年と推計された。

また、今回の調査での水位低下は丙川で1日に最大33cm、妹尾川で1日に最大31cmであった。平成28年度の樋門操作による湖内の水位低下が31cm以上であったのは13%(48日)で、6月と9月が過半数(27日)を占めており、1日の水位低下が30cmを超える場合の、両河川の流量をより精度良く推計するためにはかんがい期等の調査が必要と考えられた。

3.1.2 排水機場稼働時の流量

丙川排水機場と妹尾川排水機場により両小河川から倉敷川へ強制排水される水量を、排水機場の稼働時間と時間あたりの排水量から求めた。丙川排水機場の流量は 3.9×10^6 m³/年、妹尾川排水機場の流量は 6.5×10^6 m³/年と推計され、図6に各月毎の流量の推計値を示した。

また、倉敷川中・下流部ではこの他5箇所の排水機場から倉敷川へ排水されており、これらの排水機場の稼働時間と、時間あたりの排水量から推計した月毎の排水量も図6に合わせて示す。都六区排水機場と錦六区排水機場からの排水量が多く、この2機場の合計は倉敷川下流部に流入する全排水機場（7機場）の約61%に相当すると試算された。

3.1.3 定常時の流量

丙川の定常時の流速は、月1回の定期的な調査では16～+25 cm/sまで大きくばらつき、妥当な値では無いと考えられた。

ところで、丙川流入点の上流に位置する稔橋と下流に位置する倉敷川橋の流量は既存のデータ^{5,7)}から推計可能であった。稔橋と倉敷川橋の2地点間の流量の差を求め、これを2地点間に位置する丙川（児島湖樋門開放時、機場稼働時及び定常時）、高崎排水機場³⁾、宮島排水機場³⁾及び七区用排水機場³⁾からの流入によると仮定し、ここから丙川（児島湖樋門開放時と機場稼働時）の流量と、3排水機場からの流量を差し引いた値を丙川の定常時の流量とした。なお、七区用排水機場は月毎の用水量と排水量の比率³⁾から倉敷川への排水量を推計した。この方法により求められた定常時における丙川の流量は 14×10^6 m³/年と推計された。

一方、妹尾川では月1回の調査において流れがほとんど観測されず、また丙川と同様の推計方法も使えず、定常時の流量を推計することはできなかった。

倉敷川の支流である妹尾川の定常時の流速は小さく、また丙川の流速も測定時によるばらつきが大きいなど、電磁流速計の適用は困難であり、複数箇所に水位計を設置して水位差から流量を推計するなどの、より適切な調査が必要であった。

3.2 リン濃度

図7に全リンの調査結果を上流部、中流部及び下流部の各月の平均値を示すが、下流部の小河川・用排水路で値が高い傾向にあった。

年平均値は上流部で0.17 mg/L、中流部で0.26 mg/L、下流部で0.23 mg/Lで、中流部と下流部は0.2 mg/Lを超

えていた。小河川や用排水路は本川より高く、月毎の変化を見ると、中流部から下流部でかんがい期（6～9月）に値が高い傾向であった。全リンと各態リンの地点別濃度（年平均値）を図8に示す。全リン中の懸濁態リンの割合は平均42%であり、かんがい期と非かんがい期ではほぼ同程度であった。

3.3 リン負荷量

全リン濃度は倉敷川上流部で低く、中・下流部で高くなっており、水質汚濁への影響等を検討するためには、濃度と水量から計算されるリン負荷量としての評価が重要である。丙川、妹尾川、都六区排水機場及び錦六区排水機場からの流入が倉敷川中・下流部への流入の大部分と考えられたが、高崎排水機場、宮島排水機場及び七区用排水機場からも排水が流入しており、これらも併せてリン負荷量を検討した。中・下流部小河川及び排水機場からのリン負荷量の月毎の推計値は図9に示す。ただし妹尾川は定常時の負荷量が推計できなかったため、児島湖樋門開放時と排水機場稼働時のみを示した。濃度が高く水量の大きい6～9月のかんがい期に全リン負荷量も大きかった。年間の汚濁負荷量の大きさは都六区排水機場と丙川が同程度で最も大きく、次いで錦六区排水機場、妹尾川の順であった。

丙川、妹尾川、都六区排水機場、錦六区排水機場、宮島・高崎及び七区用排水機場から流入する年間のリン負荷量を図10に示すが、リン負荷量は倉敷川中・下流部の丙川、都六区排水機場排水及び錦六区排水機場排水を合わせて約28 t/年と推計された。なお、妹尾川のリン負荷量は児島湖樋門開放時と排水機場稼働時に約5.4 t/年と推計されたが、定常時の流量が推計できなかったため、リン負荷量の総量は計算できず、図10中では a t/年と記載した。妹尾川のリン負荷量の推計が今後の課題であった。

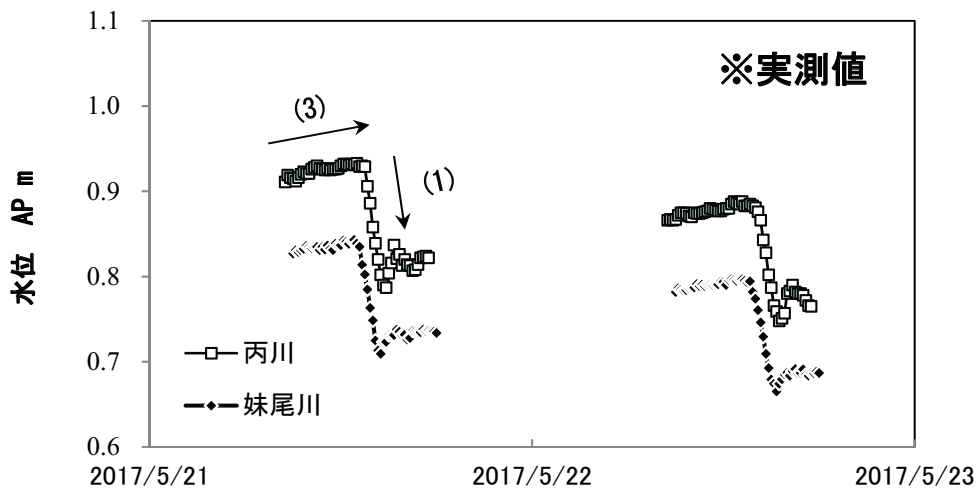
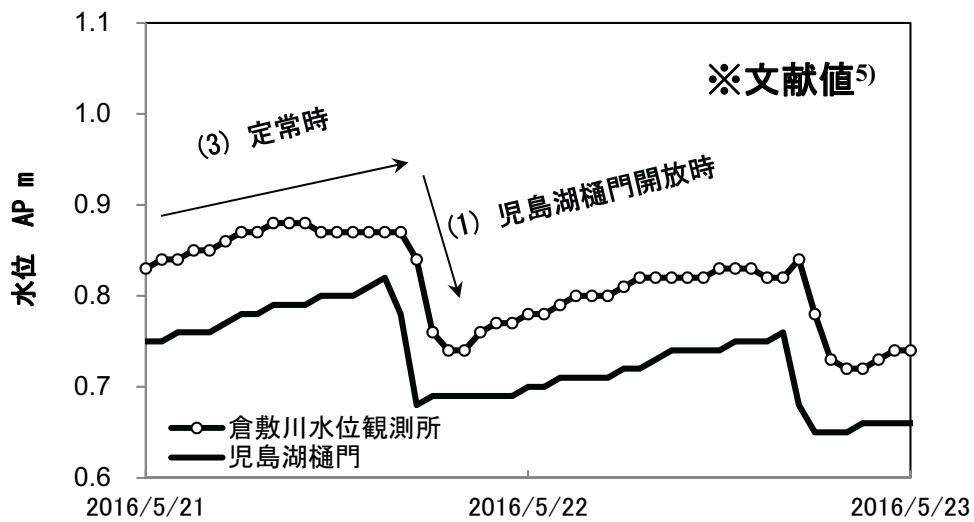
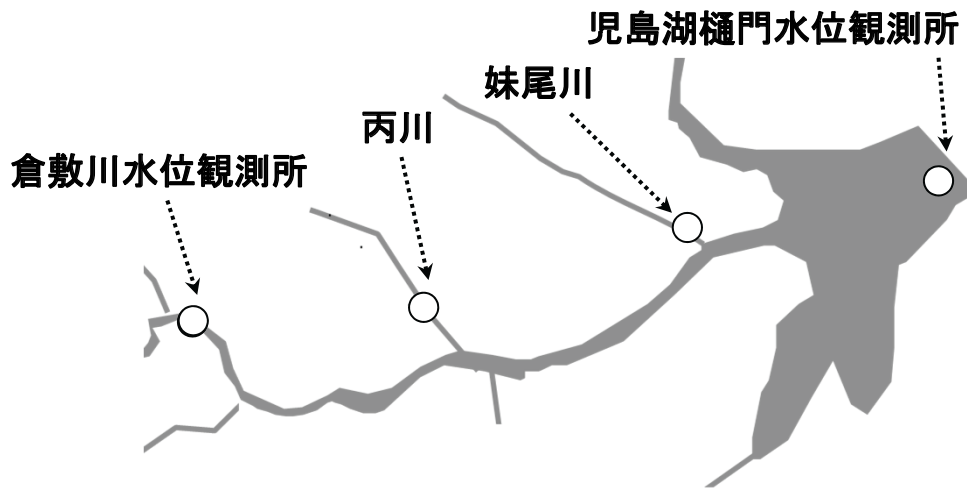


図3 水位測定地点及び測定例

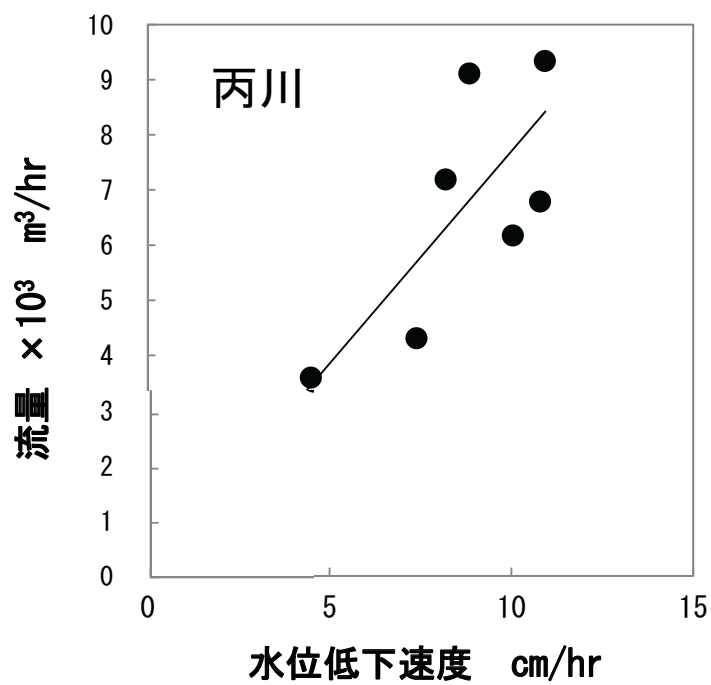
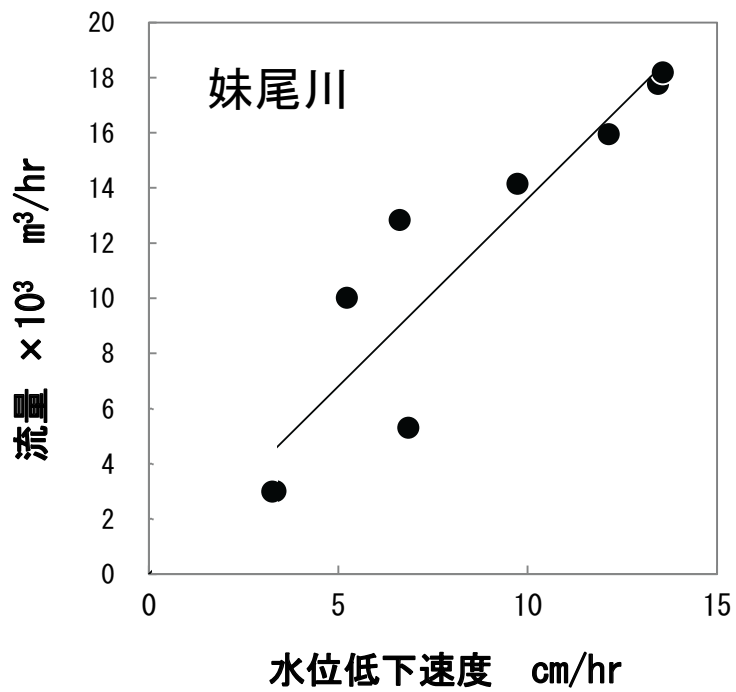


図4 妹尾川及び丙川の水位低下速度と流量の関係

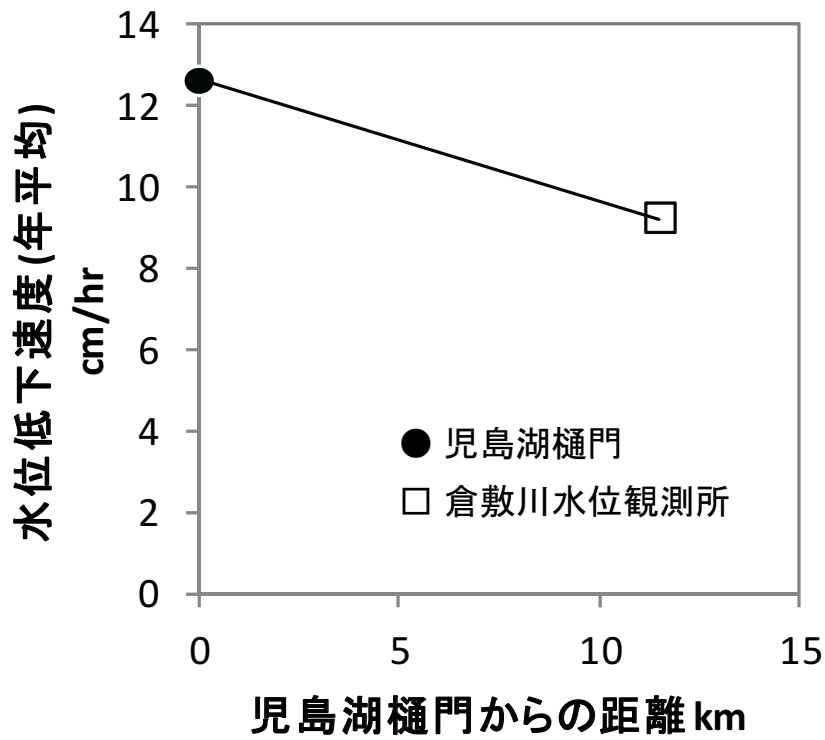
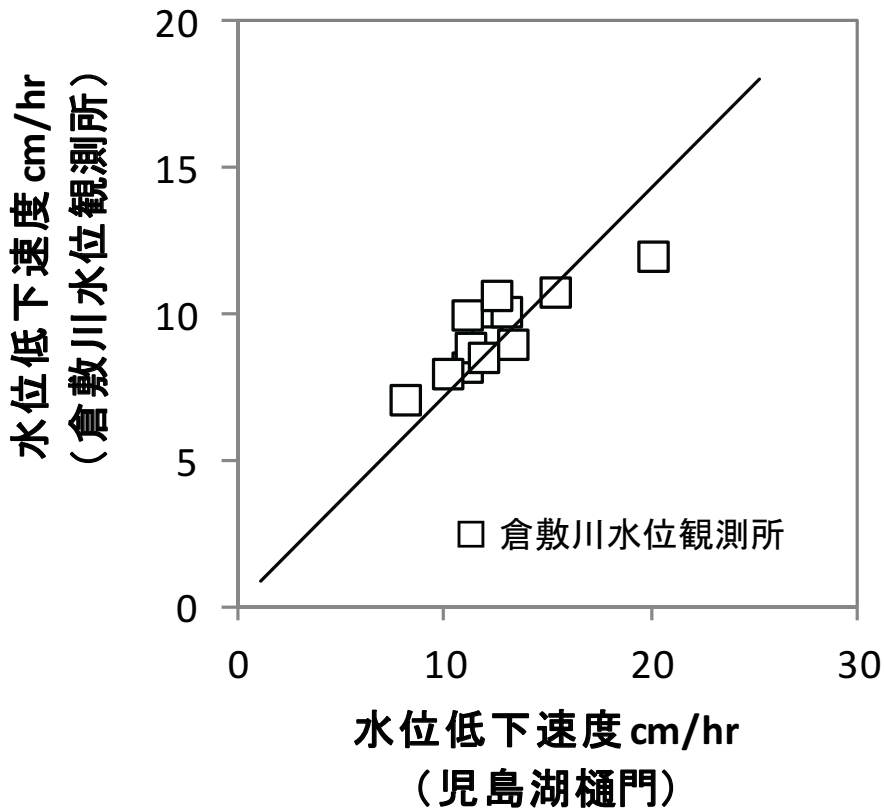


図5 水位低下速度と樋門からの距離

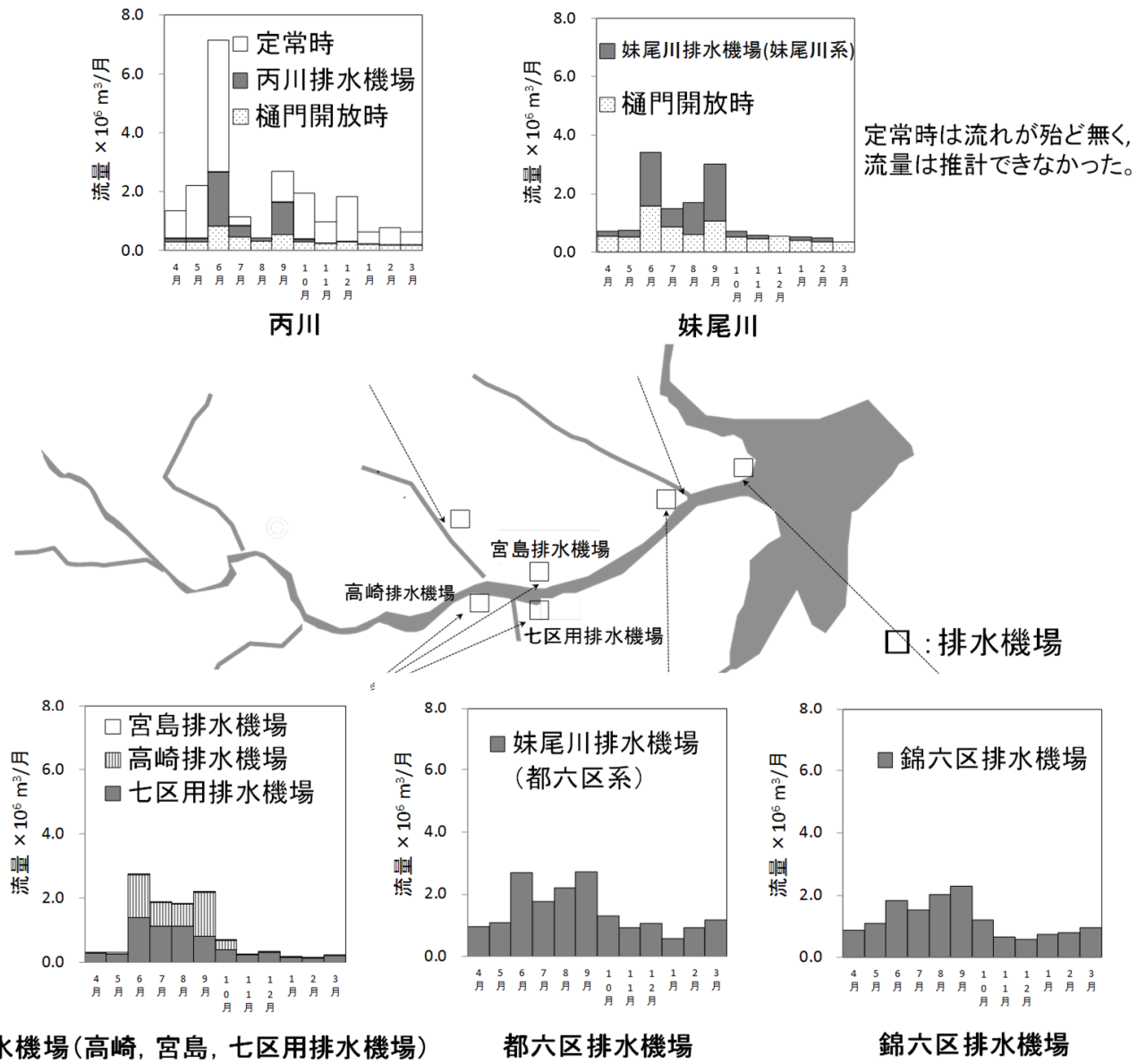


図6 小河川及び排水機場からの流量

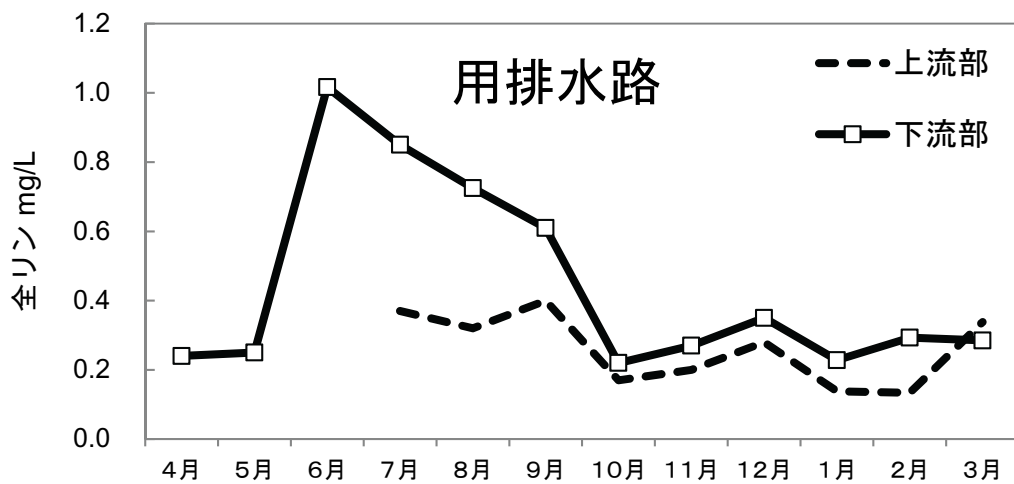
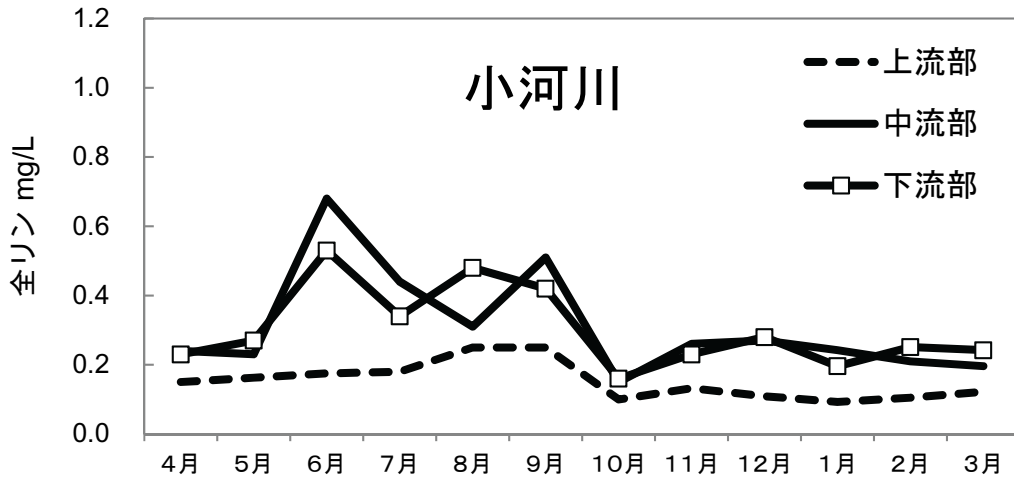
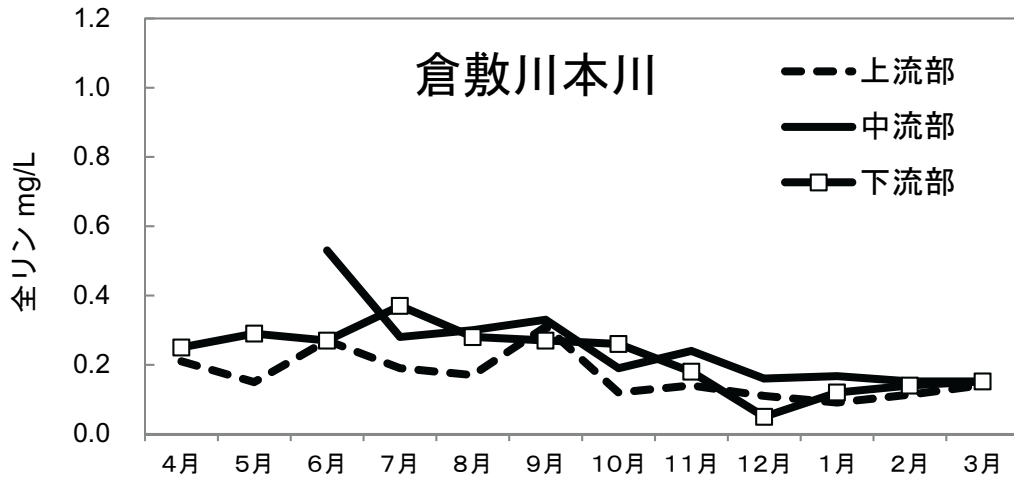
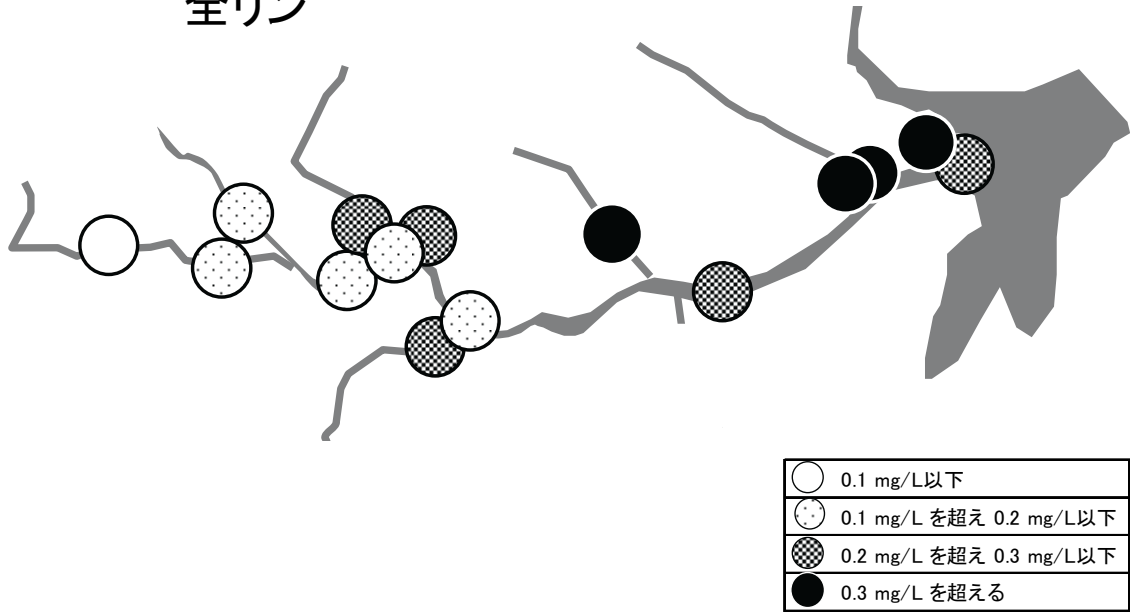


図7 リン濃度

全リン



各態リン

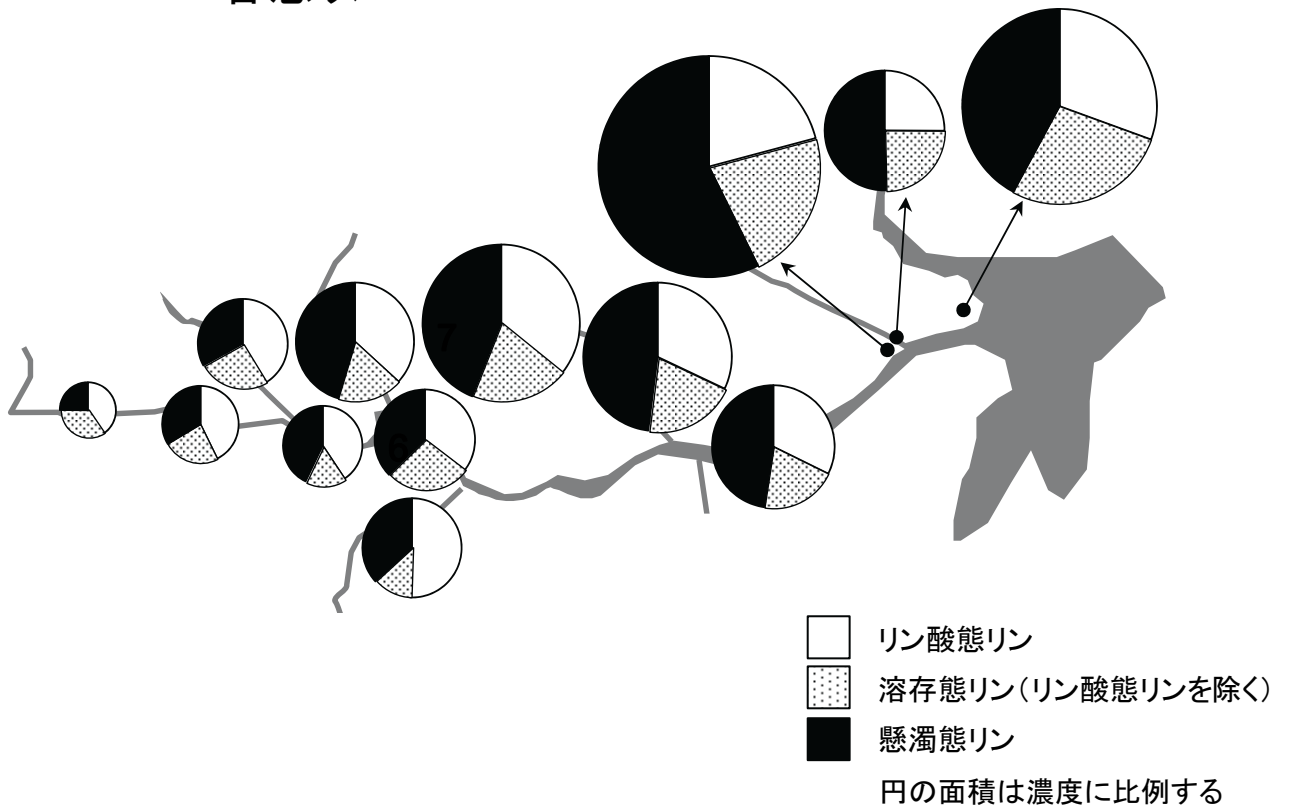
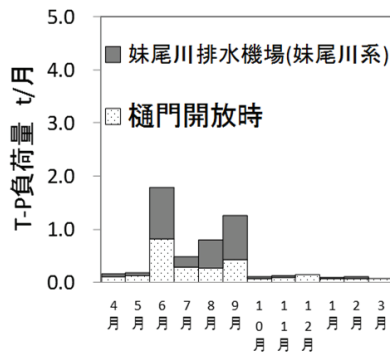
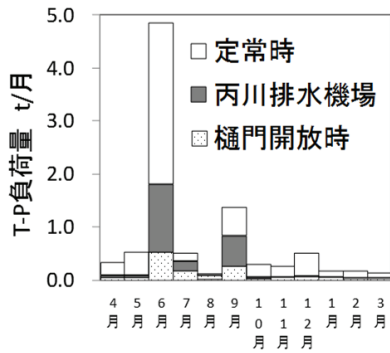


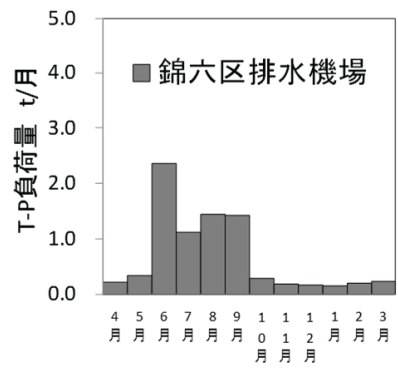
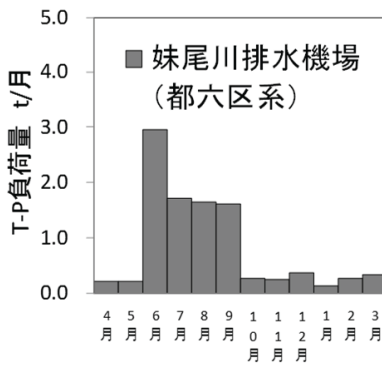
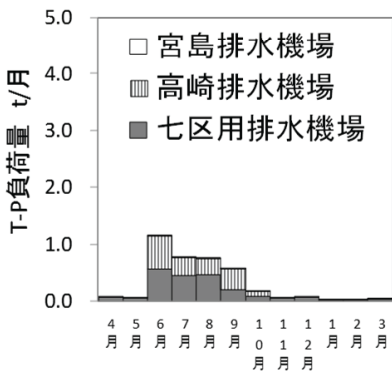
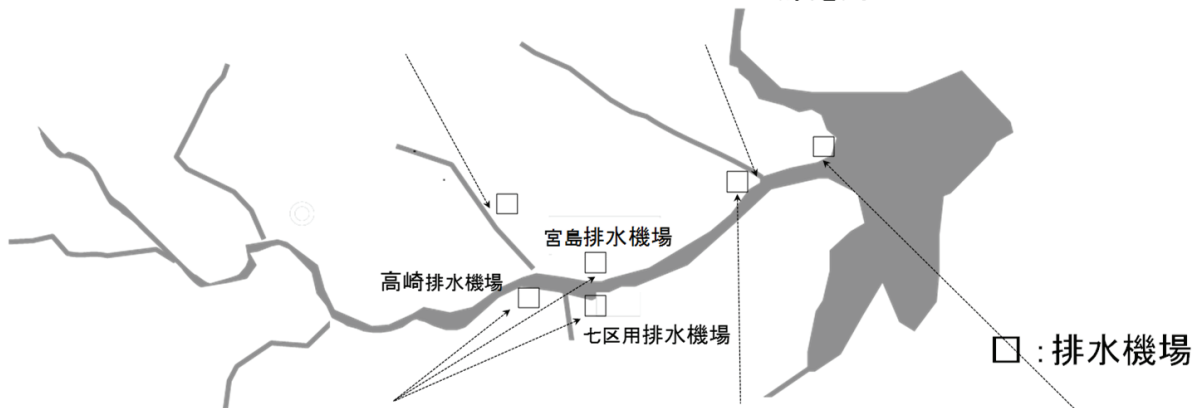
図8 リン濃度



定常時は流れが殆ど無く、
負荷量は推計できなかった。

丙川

妹尾川



排水機場(高崎, 宮島, 七区用排水機場)

都六区排水機場

錦六区排水機場

図9 小川川及び排水機場からのリン負荷量

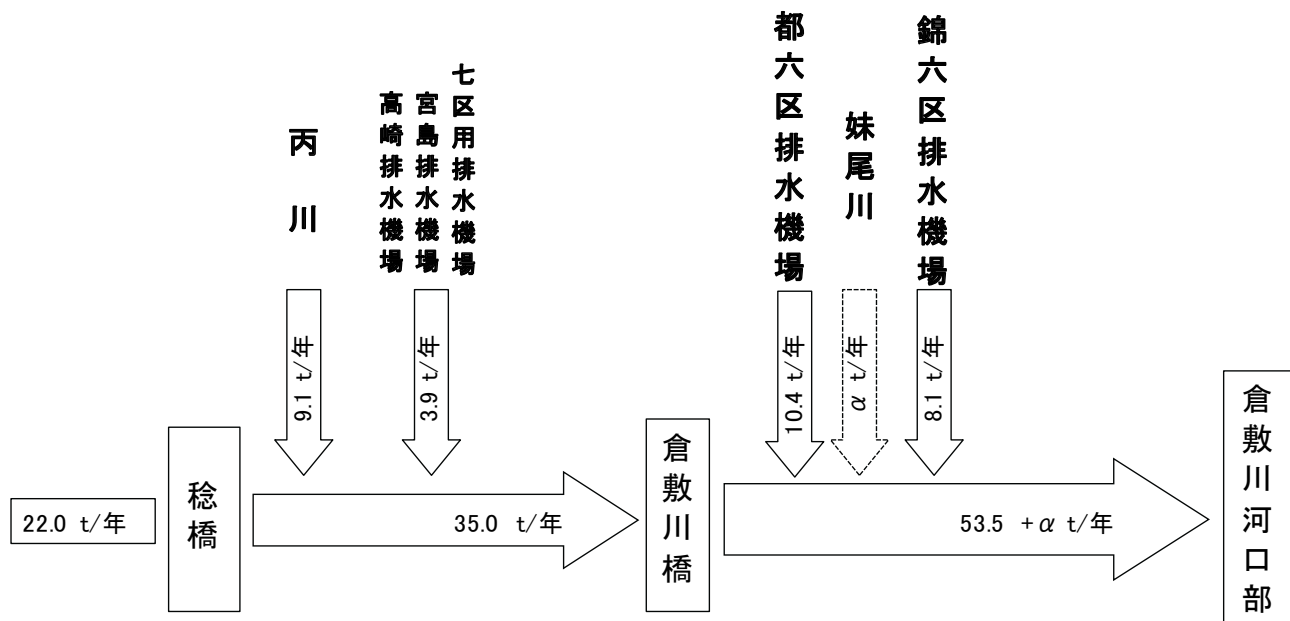


図10 小河川及び排水機場からのリン負荷量

4 まとめ

倉敷川流域の定常時、児島湖樋門開放時及び排水機場稼働時の流量及びリン負荷量を推計した。

丙川の流量はおよそ 21×10^6 m³/年と推計された。妹尾川の流量は児島湖樋門開放時と排水機場稼働時におよそ 10×10^6 m³/年と推計されたが、定常時の流量は推計できなかった。

倉敷川の全リン濃度の年平均値は上流部で0.17 mg/L、中流部で0.26 mg/L、下流部で0.23 mg/Lであり、かんがい期が高かった。倉敷川へ流入するリン負荷量は倉敷川中・下流部の小河川・排水路で大きく、丙川、都六区排水機場排水及び錦六区排水機場排水の合計は約28 t/年と推計されたが、妹尾川の負荷量は推計できず、倉敷川中・下流域へ流入するリンの負荷量を推定することはできなかった。

今後、妹尾川の負荷量を求めるため定常時の妹尾川の流量を測定する必要がある。

文 献

- 1) 岡山県：児島湖ハンドブック，2017
- 2) 岡山県：平成28年度公共用水域及び地下水の水質測定結果，2017
- 3) 岡山県：平成28年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査，2017
- 4) 藤田和男，中野拓也，金子英史，山本 淳：児島湖における水質汚濁メカニズムの解明-都六区の水田群

及び八浜町波知の水田における汚濁負荷量調査，岡山県環境保健センター年報，39，75-80，2015

- 5) 岡山県：児島湖締切堤樋門操作月報，2016
- 6) 工場排水試験法 JIS-K0102（2010）：日本規格協会
- 7) 岡山県：平成17年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査，57，2005