

2013 年度（平成 25 年度）

博士論文

水田を含む流域からの汚濁物流出と  
その管理手法に関する実証的研究

立命館大学大学院

理工学研究科 総合理工学専攻

澤田 育則

水田を含む流域からの汚濁物流出とその管理手法に関する実証的研究

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的と位置づけ	1
1.3	研究の構成	2
第 2 章	水田からの汚濁物流出に関する実証的研究	5
2.1	緒言	5
2.2	対象地域の概要	5
2.2.1	実験小流域の概要	5
2.2.2	栽培管理	6
2.3	調査方法	7
2.3.1	水質調査	7
2.3.2	土壌調査	8
2.4	調査結果と考察	9
2.5	用排水における汚濁負荷量	14
2.5.1	水収支・汚濁負荷量収支の計算	14
2.5.2	汚濁負荷量の変動特性	15
2.5.3	汚濁負荷量の収支	20
2.6	環境こだわり農業の影響評価	23
2.7	まとめ	24
第 3 章	流域からの汚濁物流出とその管理手法に関する実証的研究	27
3.1	緒言	27
3.2	対象施設の概要	27
3.3	調査方法	29
3.3.1	平水時調査	29
3.3.2	出水時調査	29
3.4	結果と考察	31
3.4.1	平水時調査	31
3.4.2	出水時調査	37
3.4.3	年間を通じた汚濁物流出抑制効果	80
3.5	まとめ	83
第 4 章	流域からの汚濁物流出管理手法に関する数値シミュレーション	85
4.1	緒言	85
4.2	データの概要	85
4.3	数値シミュレーションモデルの構築	85

4.3.1	シミュレーションのフロー	85
4.3.2	水量シミュレーションモデル	88
4.3.3	流域からの流出負荷量シミュレーションモデル	92
4.3.4	一時貯留池における沈殿除去シミュレーションモデル	98
4.4	再現性の検討	100
4.4.1	水量におけるシミュレーションの再現性	100
4.4.2	水質におけるシミュレーションの再現性	102
4.5	結果と考察	119
4.5.1	結果	119
4.5.2	年間降雨量の多寡による除去特性	121
4.5.3	沈降時間を変数とした除去量の変化	123
4.5.4	施設稼働条件を変数とした除去量の変化	124
4.6	まとめ	126
第5章	結論	129
5.1	本論文の成果	129
5.2	課題と今後の展望	130

謝辞

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

琵琶湖は日本で最も大きな湖であり、近畿の 1,400 万人により飲用水源として使用されている。琵琶湖へは 100 以上の流入河川が流入しており、それらの流入水は琵琶湖の水質に影響を与えている。特に、降雨によるノンポイントソースからの汚濁は懸念されているもののひとつである。このようなノンポイントソースからの汚濁物の挙動は多くの先行研究で議論され<sup>1),2)</sup>、またシミュレーションモデルを用いたモデル化も図られている<sup>3),4)</sup>。都市部においては、多環芳香族炭化水素類 (PAHs) や重金属類が発癌性・内分泌かく乱性を有していることや、難分解性であり多くが生体内に蓄積されやすいことなどから特に議論されている<sup>5)</sup>。都市交通由来の毒性物質に関する多くの調査も行われているが<sup>6)-9)</sup>、その流出抑制に関するものは多くない。流出調査をもとに雨水滞水池を想定した汚濁物流出抑制手法を検討した例<sup>10),11)</sup>などはあるものの、実施設において、充実した実測データをもとに汚濁物流出抑制効果を検討した報告は少ない。水田をはじめとする農地では、代掻き濁水にともなう栄養塩の流出などが特に問題となっている。水田における汚濁物流出調査はこれまで多く行われている<sup>12)-14)</sup>ものの、非灌漑期についてのデータと同様に、流末における農地由来汚濁の流出抑制に関する知見はほとんどない。滋賀県では琵琶湖集水域の総合管理のために、マザーレイク 21 計画<sup>15)</sup>を 2000 年に策定した。これは湖の水質を 2050 年に 1950 年代の水質と同等とすることを目標にしている。

## 1.2 研究の目的と位置づけ

受水域へ流出する負荷量は、土地利用によって流出する主な物質が異なる。栄養塩類に関しては、ノンポイントソースにおいても排出指針が設けられ対策されている。しかし、多環芳香族炭化水素類や重金属類に代表される自動車交通由来の微量有害物質に対する規制は設けられてはいない。こうした微量有害物質を含めた流出抑制効果を、実施設において検討し、さらにはその実施設を最も効率的に運用するために必要な運転条件等を数値シミュレーション解析から検討する。以下に各章の目的を示す。

### (1) 水田からの汚濁物流出

水田をはじめとする農地では、代掻き濁水にともなう栄養塩の流出などが特に問題となっている。水田における汚濁物流出調査はこれまで多く行われているものの、これらの中には、実測・評価精度が十分とは言えない研究も少なくない。その理由としては、①実測頻度が低い、②1 筆水田の調査が多い、③調査期間 (年) が 1 年の研究が多く水文条件の年変化が反映されていない、などが挙げられる。そこで、環境配慮型農業の実施されている水田小流域を対象にして、灌漑期間に用水路と排水路において流量と水質を頻度よく測定し、汚濁物質の挙動・収支を整理することで、代かきや穂肥の時期ごとの負荷量の大きさを算定する。また、流出負荷量が営農作業に起因して流出することが予想されるため、その要因となるものを明らかにすること、ならびに、環境配慮型農業の汚濁物流出負荷量の削減効果を、環境配慮型農業面積の拡充から評価することを目的とした。



## (2) 流域からの汚濁物流出とその管理手法

ノンポイントソースからの降雨により汚濁物が流出され、都市部においては、多環芳香族炭化水素類（PAHs）や重金属類が流出している。この PAHs や重金属類が発癌性・内分泌かく乱性を有していることや、難分解性であり多くが生体内に蓄積されやすいことなどから特に議論されている。都市交通由来の毒性物質に関する多くの調査も行われているが、その流出抑制に関するものは多くない。流出調査をもとに汚濁物流出抑制手法を検討した例などはあるものの、実施設において、汚濁物流出抑制効果を検討した報告は少ない。また、流末における農地由来汚濁の流出抑制に関する知見もほとんどないことから、こうした施設における汚濁物の挙動特性と負荷量収支の把握を行った。

## (3) 流域からの汚濁物流出管理手法に関する数値シミュレーション

流末に配された流出管理施設の出水時一時貯留池を対象として、降雨をインプットに数値解析を行い、一時貯留池の稼働条件や静置時間を最適化することで流域から水域への流出負荷量を低減させることを目的としている。水田からの汚濁流出は、懸濁質に伴って流出するといわれていることから、平水時であっても一時貯留施設において沈殿処理を行うことで、容易に除去できることが考えられる。そのため、降雨の多寡、濁質や沈殿時間を シナリオドライバとして解析することで汚濁にあわせた運転条件を算定する。

### 1.3 研究の構成

ノンポイントソースからの汚濁流出の実態を第2章水田からの汚濁物流出に関する実証的研究によって明らかにし、流出の特性を把握する。次に、第3章流域からの汚濁物流出とその管理手法に関する実証的研究では、汚濁流出の抑制手法として M 川河川浄化施設を対象に調査を行い、市街地と農地で 90%以上を占めた流域からの汚濁流出管理の現状を定量的に把握する。また、こうした施設では、懸濁質や栄養塩類が対象物質とされているが、道路交通由来の微量有害物質を抑制できるかも併せて検討する。また、この施設のうち出水時をターゲットとしている一時貯留池において第4章において数値シミュレーションを行い、受水域への負荷流出が最も低くなる施設の運転条件を提案する。本研究のフローを図 1-1 に示す。

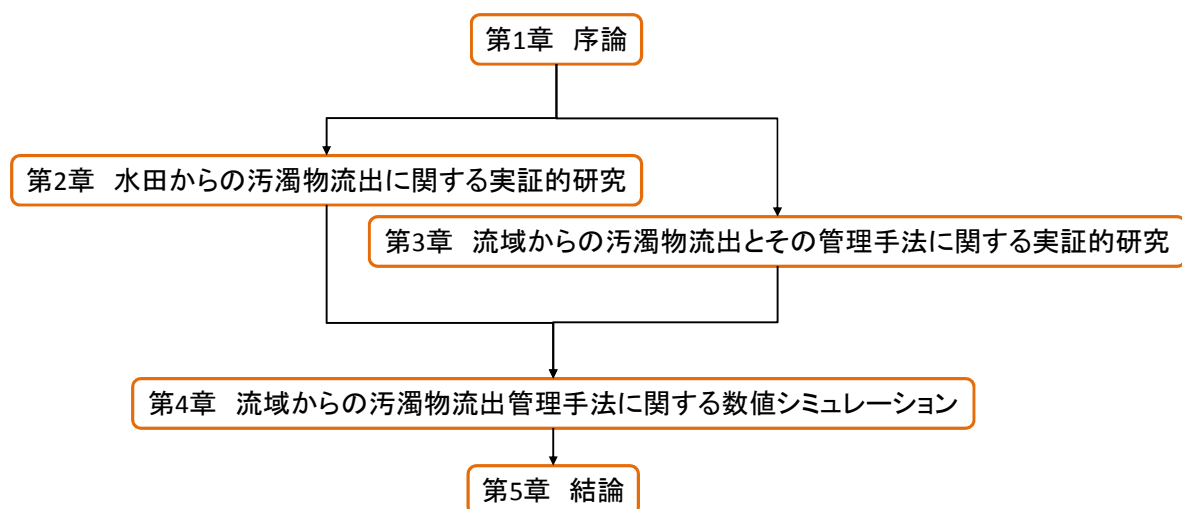


図 1-1 研究のフロー

## 参考文献

- 1) 和波一夫, 嶋津暉之 : 都市河川の雨天時汚濁の実態, 水環境学会誌, 25(9), pp.529-532, 2002.
- 2) Ichiki, A., Nagata, Y., Naruse, T. and Ido, F. : Characteristics of Highway Pollutants around heir 4) Source and in Runoff Process - A Case Study around Meishin Expressway, Japan, CD Proceedings of 8th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution, pp.119-124, 2004.
- 3) Sartor, J. D., Boyd, G. B. and Agardy, F. J. : Water pollution aspects of street surface contaminations, Water Pollution Control Federation , 46(3), pp.458-467, 1974.
- 4) Ichiki A., Yamada K., and Onishi T. : Prediction of runoff pollutant load considering characteristics of river basin, Water Science and Technology, 33(4-5), pp.117-126, 1996.
- 5) 環境省 : 環境白書, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/index.html>, 2011 (2012/6/27 確認).
- 6) 浅田素之, 大垣眞一郎 : 都市域における降雨初期雨水排水中のベンゾ(a)ピレンの挙動, 水環境学会誌, 19(11), pp.904-909, 1996.
- 7) California Environmental Protection Agency Air Resources Board : For the proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Contaminant , California Environment Protection Agency, 1998.
- 8) 三浦浩之, 和田安彦, 尾崎平, 中嶋宜信 : 雨天時道路排水の流出先水系での汚濁物質の挙動, 用水と廃水, 45(8), pp.779-785, 2003.
- 9) Murakami, M., Nakajima, F. and Furumai, H. : Modelling of Runoff Behaviour of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Roads and Roofs, Water Research, 20(38), pp.4475-4483, 2004.
- 10) 榎谷啓介, 市木敦之, 山田淳 : 雨水滞水池における汚濁物流出抑制効果の検討, 環境システム研究, 22, pp.231-236, 1994
- 11) 市木敦之, 山田淳 : 粒度特性を考慮した非特定汚濁物の流出管理に関する研究-雨水滞水池を対象として-, 環境システム研究, 21, pp.436-444, 1993
- 12) 武田育郎, 國松孝男, 小林慎太郎, 丸山利輔 : 水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷ー水田群からの汚濁負荷流出に関する研究(Ⅱ)-, 農業土木学会論文集, 153, PP.63-72, 1991
- 13) 宇土顕彦, 竺文彦, 大久保卓也, 中村正久 : 灌漑期の水田における水量収支と栄養塩収支, 水環境学会誌, 23 (5), PP.298-304, 2000
- 14) 園田敬太郎, 徳田裕二, 岡本佐知子, 田中靖志, 北野亮, 大橋恭一 : 水田群からの栄養塩類発生負荷量調査(第1報) 水稻作付期間の水田群栄養塩類発生負荷量について, 滋賀県農業試験場研究報告, 38, PP.57-65, 1997
- 15) 滋賀県:マザーレイク 21 計画, <http://www.pref.shiga.jp/biwako/koai/mother21/top.html>, 2000 (2012/6/27 確認).
- 16) USEPA OPPTS Harmonized Test Guidelines. , [http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publications/Test\\_Guidelines/series850.htm](http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publications/Test_Guidelines/series850.htm). (2012/6/27 確認)



## 第2章 水田からの汚濁物流出に関する実証的研究

### 2.1 緒言

琵琶湖などの指定湖沼の水質は、下水道などのポイント汚染源対策が進んだにもかかわらず、大きくは改善されていない<sup>1)</sup>。これは、ノンポイント負荷対策が進んでいないことが主な要因と考えられる。そこで2005年に改正された湖沼水質特別措置法では、流出対策地域を指定して、重点的にノンポイント対策を実施することとされた。その中で、近年、農業分野では、化学肥料や農薬を削減し、濁水を流出させないなどの環境配慮型農業が推進されている。水田における汚濁物質の収支に関しては、これまで多くの先行研究が行われている。水田における汚濁物質の収支に関しては、これまで多くの先行研究が行われており、筆者らも琵琶湖を受水域とする水田域を対象とした汚濁物流出に関する各種の実態調査<sup>2)~4)</sup>を実施してきた。武田<sup>5)</sup>らは、44筆11.6haの用排水が完全に分離された水田群にて週2・3回の採水頻度で調査を行っている。宇土<sup>6)</sup>らは、2947m<sup>2</sup>の1筆の水田にて調査を1日に16~24本採水ののちコンポジし、分析を行っていた。Sugimoto<sup>8)</sup>らは29筆から成る6.96haの試験水田群にて調査が行われていた。しかしながら、これらの中には、実測データや評価精度の点で十分とはいえない研究も少なくない。その理由としては、①実測頻度が低い、②1筆水田の調査が多い、③調査対象期間が1年にとどまる研究が多く水文条件の年変化が反映されていない、などが挙げられる。そこで本研究では、環境配慮型農業の実施されている水田小流域を対象にして、灌漑期間に用水路と排水路において流量と水質を頻度よく測定し、汚濁物質の挙動・収支を整理することで、流出要因を特定すること、ならびに、環境配慮型農業の汚濁物質流出負荷量の削減効果を評価することを目的とした。

### 2.2 対象地域の概要

#### 2.2.1 実験小流域の概要

調査は、滋賀県野洲市南桜地先にある南桜実験水田小流域で行った。実験小流域は面積70.9haで、128筆の水田から成っており、灌漑水は琵琶湖へ流入する野洲川中流の石部頭首工から取水している(図2-1)。野洲川は流域面積387km<sup>2</sup>で、琵琶湖に流入する河川で最大の流域の河川である。この実験小流域を選定した理由は、他地域からの排水の流入がなく、実験小流域全体が一つの農業組合に一括管理されているため、栽培管理の把握が容易であったためである。また、この実験小流域では、順次滋賀県における環境配慮型農業である環境こだわり農業<sup>9)</sup>が導入されている。環境こだわり農業は、化学肥料や化学合成農薬の量をそれまでの慣行の5割以下に削減し、水管理を徹底して、特に代かき・田植時期の水田からの濁水流出を抑制することなどが要請されている。

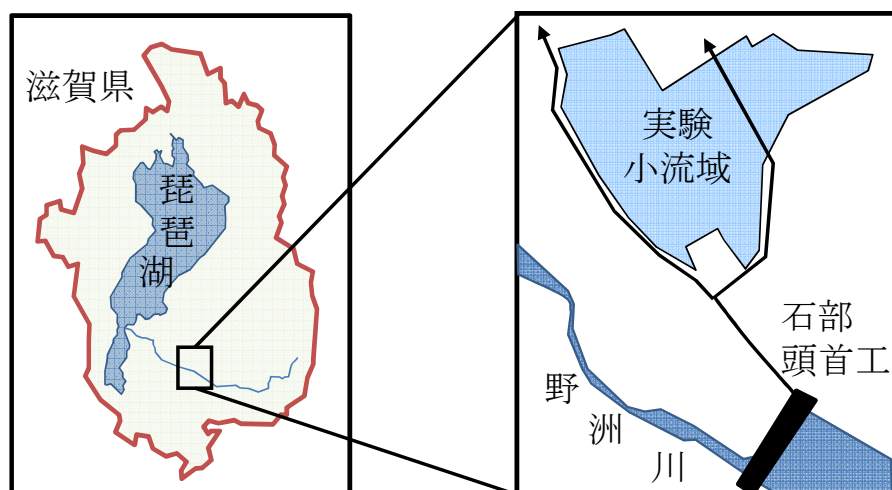


図 2-1 対象実験小流域（実線矢印：幹線用水路）

## 2.2.2 栽培管理

調査期間は 2007 年から 2009 年の灌漑期間で、2007 年は 5 月 8 日から 9 月 1 日の 116 日間、2008 年と 2009 年はいずれも 4 月 28 日から 9 月 1 日の 127 日間とした。代かき・田植や施肥の時期や量については、この実験小流域を一括管理している農業組合からヒアリング調査を実施した。代かき・田植と穂肥時期は、特に汚濁物質の流出が多いことがこれまでの研究<sup>6)・8)</sup>より知られているので、本論文では灌漑期を、「I 代かき・田植時期」、「II 代かき・田植後」、「III 穂肥時期」、「IV 穂肥後」の 4 期間に区分して議論した（表 2-1）。イネの品種はコシヒカリとキヌヒカリで約 8 割を占め、実験小流域に占める転作（コムギ・ダイズ）の面積割合は 2007 年は 29.2%，2008 年は 23.8%，2009 年は 29.2%であった。実験小流域では、図 2-2 に示したように環境こだわり農業が 2003 年から試験的に取り入れられ、2009 年には水田面積の 66.3%を占めた。

表 2-1 調査期間

調査期間	2007年	2008年	2009年
	月/日(日数)	月/日(日数)	月/日(日数)
I 代かき・田植時期	5/8 - 5/13 (6)	4/28 - 5/10 (13)	4/28 - 5/10 (13)
II 代かき・田植後	5/14 - 7/3 (34)	5/11 - 7/8 (59)	5/11 - 7/14 (65)
III 穂肥時期	7/4 - 8/7 (39)	7/9 - 7/22 (14)	7/15 - 7/29 (15)
IV 穂肥後	8/8 - 9/1 (37)	7/23 - 9/1 (41)	7/30 - 9/1 (34)
灌漑期間全体	5/8 - 9/1 (116)	4/28 - 9/1 (127)	4/28 - 9/1 (127)

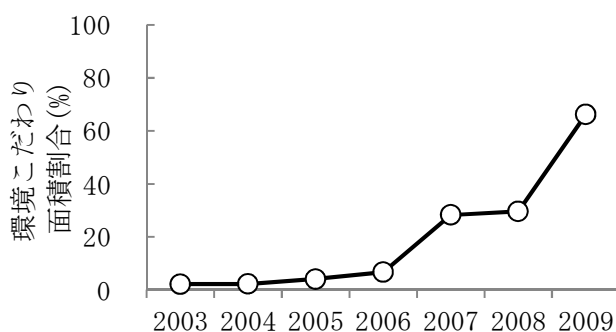


図 2-2 環境こだわり農業面積割合推移

## 2.3 調査方法

### 2.3.1 水質調査

図 2-3 に実験小流域の用排水経路と調査地点を示す。用水は In1～4 から流入している。いずれも野洲川右岸幹線水路から取水しているため、水質は地点ごとには変わらないとして In1 で用水路水質を調査した。排水路水質は Out1 で調査した。地下浸透水（2007 年の途中から）は F 地点付近の水田にて埋設されている暗渠から採水して水質を分析した。また、精密調査水田では田面水の採水も併せて行った。ここで、用水路と排水路には、用水として使用されなかった用水（以後、用水余り）が含まれている。調査頻度は、水質の変化が大きいと予想される「I 代かき・田植時期」と「III 穂肥時期」は毎日 1 回、「II 代かき・田植時期後」は 3 日に 1 回、「IV 穂肥時期後」は 5 日に 1 回とした。分析用試料はポリエチレン（PE）製バケツで採水し、2mm のフルイで夾雑物を除き 2L 容 PE 製容器に入れて実験室に持ち帰った。浮遊物質（SS）、マンガン法による化学的酸素要求量（COD）、窒素（TN）、リン（TP）をろ過前の試料について分析し、溶存性 COD（COD(D)）、溶存性窒素（TN(D)）、溶存性リン（TP(D)）は孔径 1  $\mu$ m ガラス繊維ろ紙でろ過した後、分析した。分析は JIS K0102<sup>9)</sup>に準拠して行った。粒度分布はレーザー回折法（島津 SALD-3000）で分析した。

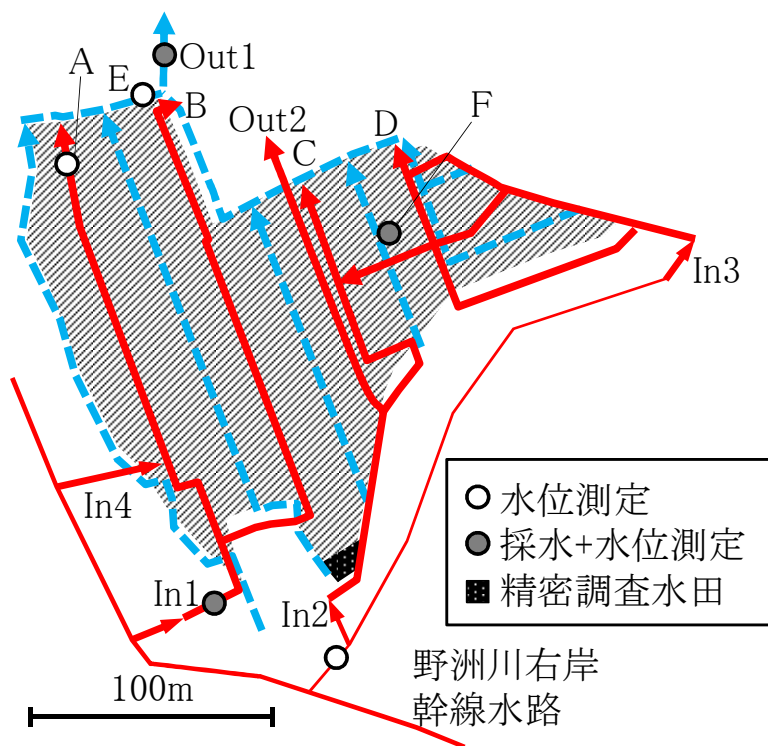


図 2-3 実験小流域用排水系路と調査地点  
(実線矢印：用水路，破線矢印：排水路)

### 2.3.2 土壌調査

水田土壌は、精密調査水田（図 2-3）で代かき前、穂肥前と稲刈り後に採取した。土壌は水口付近と水尻付近で、直径 10 cm の塩化ビニル製パイプを用い表土 15 cm 程度を採取し、混合した。105℃で乾燥後、粉碎して、2 mm のフルイ通過分を分析用細土とした。分析用細土はさらに 500  $\mu$ m、75  $\mu$ m のフルイを通過させ粒径占有率を求めた（表 2-2）。分析法は土壌含有窒素と炭素はともに、CN コーダ（住化 SUMINGRAPH NC-90A、島津ガスクロマトグラフ GC8A）で、リンは硫酸・過酸化水素分解・モリブデン青法は土壌養分分析法<sup>10)</sup>により分析した。また分析は、粒径 500  $\mu$ m 未満を fin として、500  $\mu$ m 以上 2mm 未満のものを coa として粒径別に行った。分析結果を表 2-3 に示す。窒素やリンにおいて水田土壌養分量に関する基準<sup>5)</sup>と比較して土壌養分量が低いため、稲量に応じた量の肥料が播かれることが推察される。

表 2-2 水田土壌における粒径占有率 (%)

年	月日	75 $\mu$ m 未満	75 $\mu$ m 以上 500 $\mu$ m 未満	500 $\mu$ m 以上 2000 $\mu$ m 未満	2000 $\mu$ m 以上
2007	4/29	24.8	33.9	27.0	14.3
	6/27	43.3	35.1	13.3	8.3
	9/14	28.5	48.8	17.4	5.3
2008	3/16	23.5	37.7	27.6	11.1
	5/14	20.3	46.7	22.5	10.4
	10/2	38.6	37.6	15.5	8.3
2009	3/22	39.4	25.0	20.9	14.6
	5/15	36.5	36.0	13.7	13.9
	9/17	41.1	41.2	11.5	6.3

表 2-3 水田土壌の養分含有率 (%)

年	月日	N		P		C	
		fin	coa	fin	coa	fin	coa
2007	4/29	0.19	0.12	0.084	0.053	1.9	1.4
	6/27	0.24	0.09	0.091	0.053	1.7	0.9
	9/14	0.13	0.08	0.082	0.046	1.4	0.7
2008	3/16	0.16	0.11	0.106	0.062	1.7	1.2
	5/14	0.14	0.06	0.072	0.031	1.6	0.7
	10/2	0.12	0.04	0.069	0.036	1.3	0.4
2009	3/22	0.13	0.06	0.066	0.031	1.5	0.8
	5/15	0.13	0.03	0.044	0.011	1.4	0.3
	9/17	0.13	0.02	0.062	0.021	1.3	0.2

※fin: 粒径500  $\mu$ m 未満, coa: 粒径500  $\mu$ m 以上

## 2.4 調査結果と考察

2007年から2009年の用排水路水質、浸透水と田面水の濃度変動図を図2-4～図2-6に示す。SSについては、用水路水質の平均値は、2007年が14.6mg/L、2008年が11.6mg/L、2009年が9.6mg/Lであった。用水は野洲川から取水しているため、大きな降雨に反応してSSは時々急上昇していた。排水路水質は、「I代かき・田植時期」に3年ともに上昇した。2008年と2009年では、この「I代かき・田植時期」の中で2回ピークがみられるが、これは実験小流域で代かき・田植えが2週に分けて行われているためである。この「I代かき・田植時期」の平均水質は2007年～2009年でそれぞれ151mg/L、123mg/L、87.4mg/Lであった。それ以外に3年通じて6月中旬くらいに上昇がみられる。これは、中干しのための強制排水により起きたと考える。田面水質と比較すると、田面水水質のピークが、排水路水質のピークに対して2.5倍程度高くなっていた。これは、田面水水質が水田の表面排水を採水しているのに対して、排水路水質では用水余りが混入し希釈されているためである。また、表2-4にSSの粒度を50%値で示す。ここから、「I代かき・田植え時期」の流出する粒径が他の時期に比べ特に小さいことが分かる。TNについては、用水の平均値は、2007年では0.91mg/L、2008年では0.99mg/L、2009年では0.96mg/Lであった。排水ではSSの変動とほぼ一致しており、I期の平均濃度は、2007年～2009年でそれぞれ5.00mg/L、4.17mg/L、2.92mg/Lと高かった。また、2007年の「III穂肥時期」で濃度の上昇が見られたが、2008年と2009年の同時期では上昇はみられなかった。浸透水のTN平均値は、2007年で1.60mg/L、2008年で1.83mg/L、2009年で1.78mg/Lであった。灌漑期初めには、高い値を示したが、溶脱し還元され徐々に低下し、5月末には1.00mg/L程度になった。TPについては、用水の平均値は2007年で0.043mg/L、2008年で0.163mg/L、2009年で0.173mg/Lであった。排水の挙動は、TNとほぼ同じものとなった。

「I代かき・田植時期」の平均水質は、2007年～2009年でそれぞれ1.04mg/L、0.726 mg/L、0.708mg/Lであった。2008年の中干し時に顕著なピークが現れた。浸透水のTPでは平均値は2007年で0.345mg/L、2008年で0.383mg/L、2009年で0.441mg/Lとなった。TNとは逆に、「I代かき・田植時期」、「II代かき・田植後」には低い値を示し、「III穂肥時期」、「IV穂肥後」に高くなった。CODについては、用水の平均値は、2007年で4.23mg/L、2008年で3.32mg/L、2009年で3.42mg/Lであった。排水CODの「I代かき・田植時期」の平均水質は、2007年～2009年でそれぞれ7.87mg/L、9.13mg/L、6.71mg/Lであった。また、「II代かき・田植後」で上昇傾向がみられた。これは、日射量が増加したことによる、プランクトンの増加が原因と考えている。浸透水の平均値は2007年で5.17mg/L、2008年で4.77mg/L、2009年で5.32mg/Lであった。浸透水水質ではCODは比較的、値が期間を通じて値が安定したが、TPと同様に「III穂肥時期」、「IV穂肥後」に高くなった。図2-7に排水路流量と排水路水質の関係を示す。代掻き・田植え時期に着目すると、他の時期と比較して、この時期の排水路水質は排水路流量が大きくなるにつれ特に大きく増加していることが分かる。さらに、代掻き・田植え時期の中でも特に水質の高いものは「代かき」であると考えられ、代かきが水域に与える影響が特に大きいと考えられる。



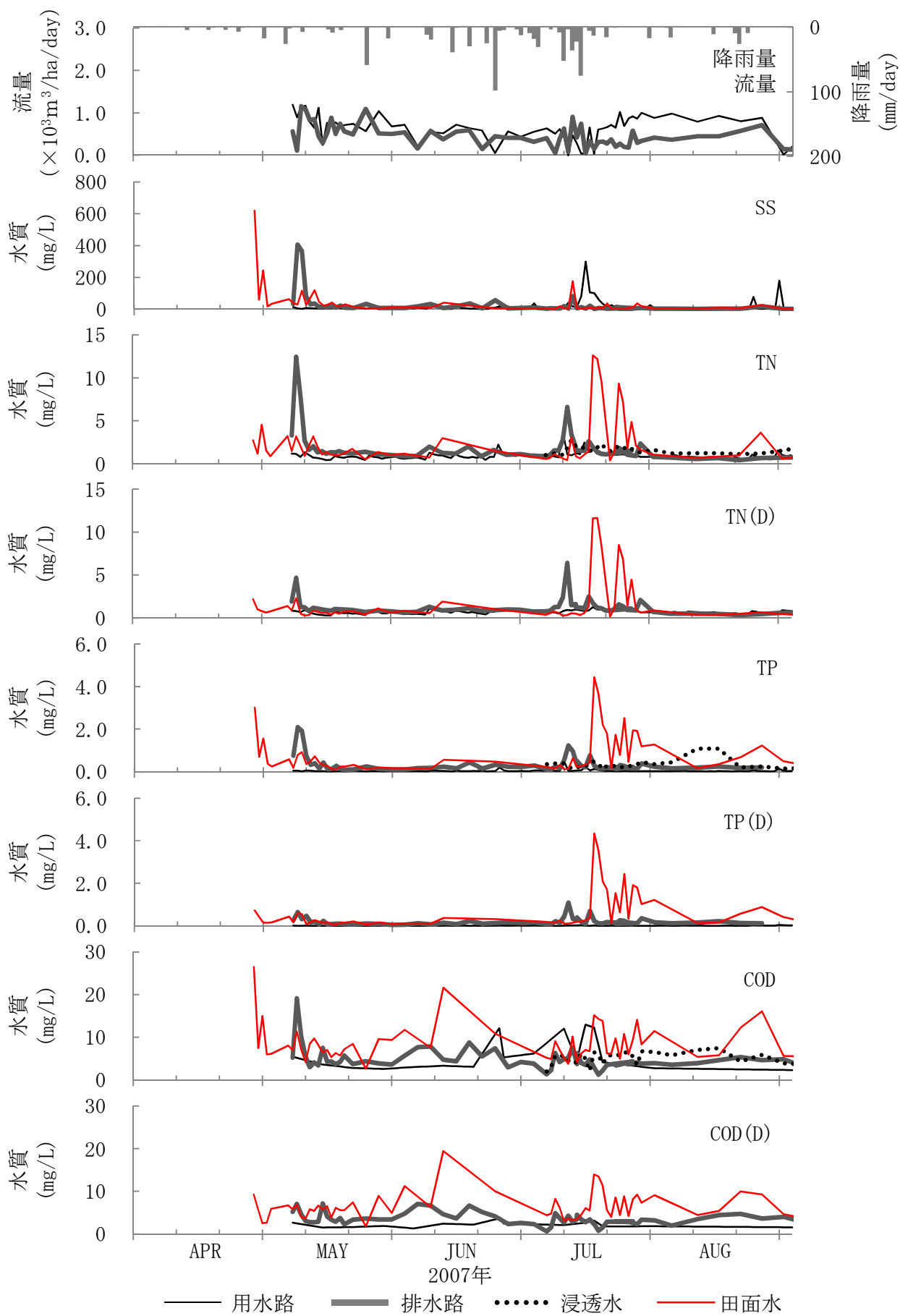


图 2-4 2007 年水质变动

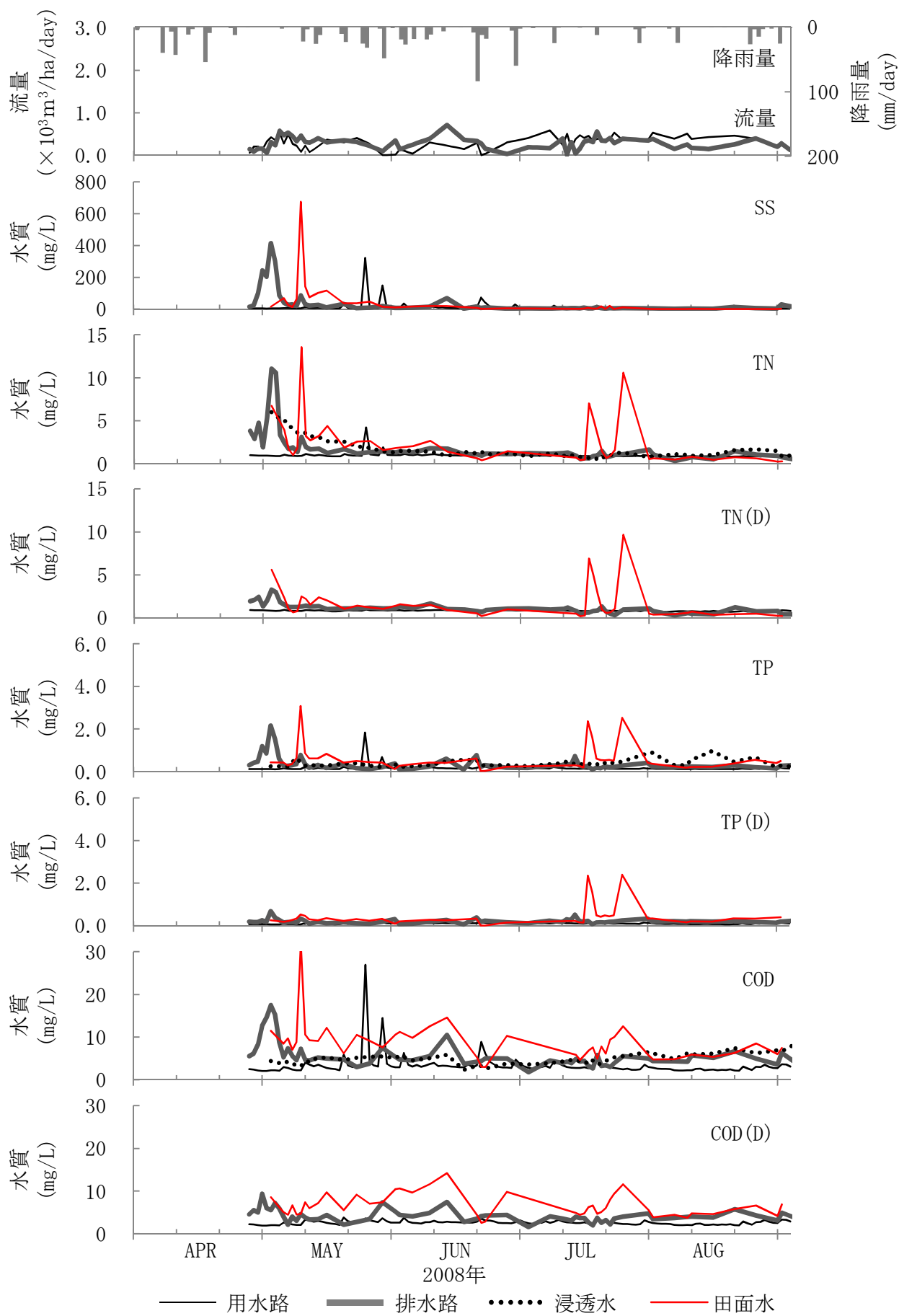


图 2-5 2008 年水质变动

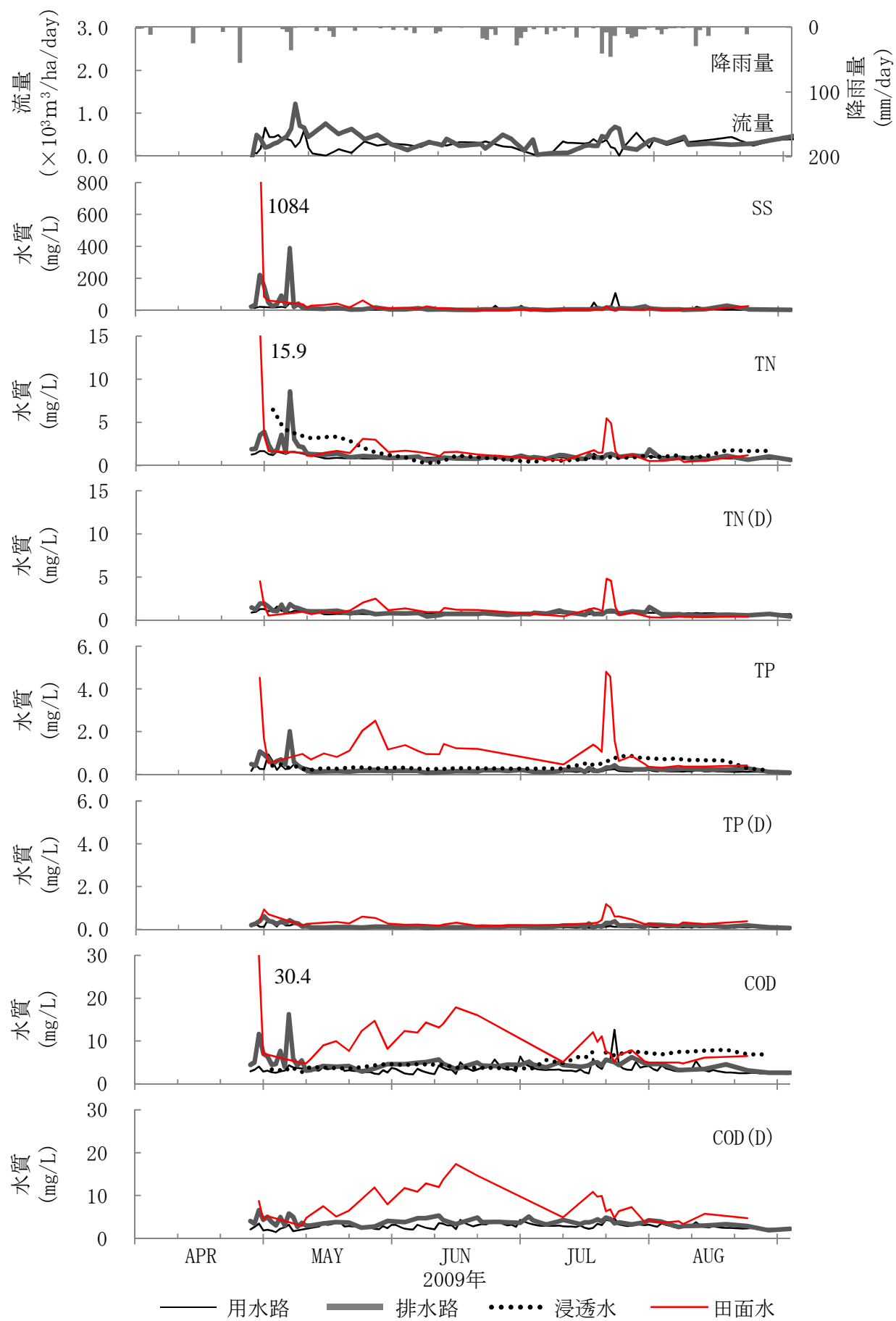


圖 2-6 2009 年水質變動

表 2-4 SS 粒度 50%値

年	( $\mu\text{m}$ )		全灌漑 期間
	I 代かき ・ 田植え時期	その他	
2007年	6.4	14.1	7.8
2008年	6.4	17.2	6.4
2009年	21.0	152.3	25.6

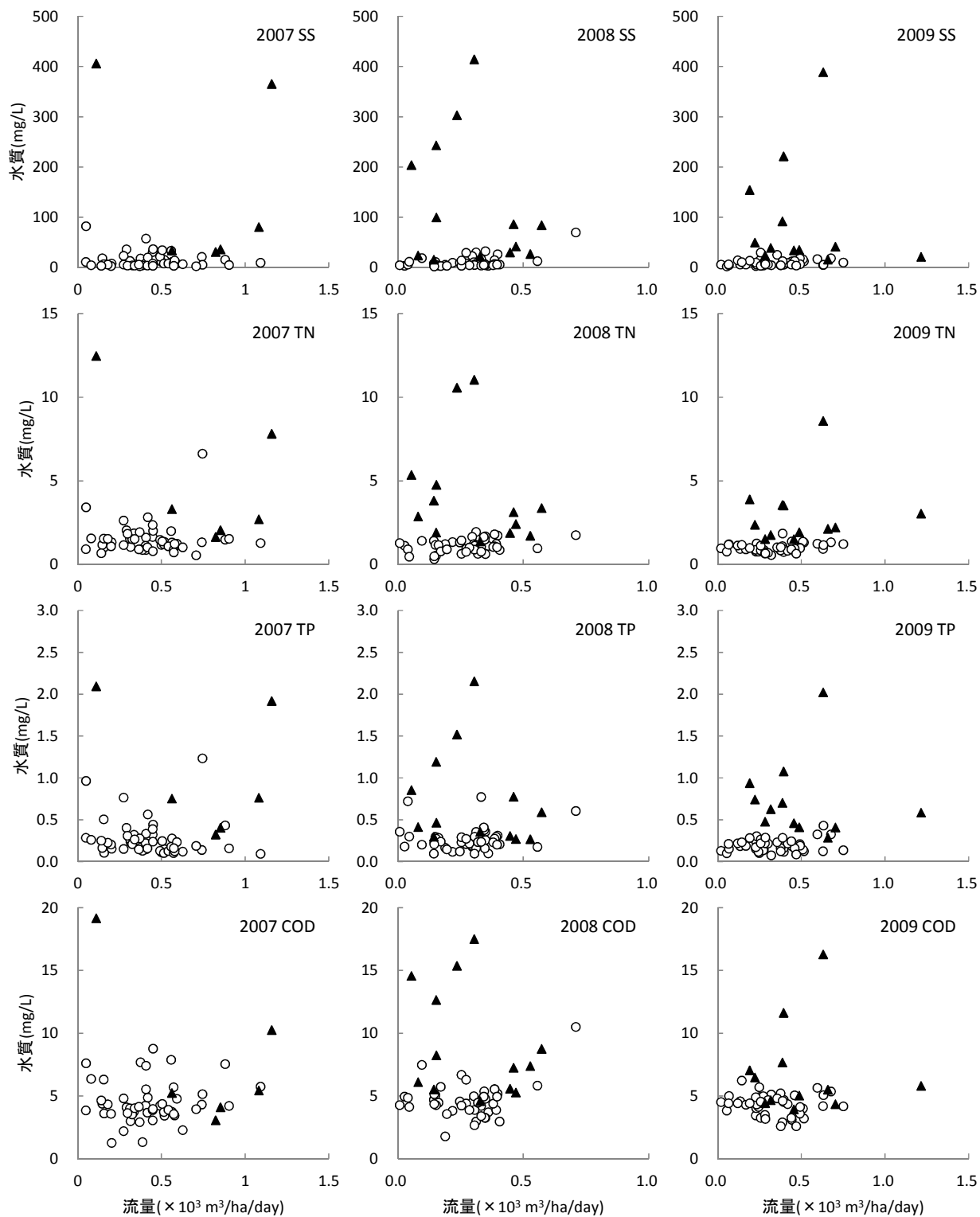


図 2-7 排水路流量と排水路水質の関係 (▲: 代かき・田植え期間, ○: 代かき・田植え期間以外)

## 2.5 用排水における汚濁負荷量

本実験小流域では用水余りが用水路と排水路に混入していたため、用排水路にて調査した結果を水田からの流出入量として直接評価することができなかった。そのため、用排水路から用水余りを減じることで、用排水をそれぞれ算定した。さらに、流出入をいくつかの要素に分割することで、水田内の収支をより細かく見ることとした。

### 2.5.1 水収支・汚濁負荷量収支の計算

実験小流域の用排水系路を図 2-3 に示した。用水は In1～In4 から流入している。流入している用水系統により、実験小流域をそれぞれ In1～In3 ブロックとした。前述した用水余りは、Out2 から流域外へ直接流出しているほか、A、B、C、D の 4 地点では排水路に合流している。A～D で合流した用水余りを含む表面排水は排水路 Out1 から流域外へ流出している。なお、流出する排水は全て実験小流域からの排水で、他地域からの排水の混入はない。水量は図 2-3 の丸印のポイントで採水時に水位を測定し、H-Q 式より計算した。用排水路を流れる水量の多寡により、水の流れや合・分流が錯綜するため、これらの各実測流量をもとに、流域全体の平均用排水量を以下の水収支式を用いて 1 日ごとに計算することにした。

$$I = \angle S - R + P + Ev + D \quad (1)$$

ここで、I は用水量、 $\angle S$  は水田湛水量、R は降雨量、P は浸透量、Ev は蒸発散量、D は排水量で、単位はいずれも mm である。D は実測した E 点の排水路流量から A 点の用水余り流量を差し引き In1 ブロックの水田面積で除して In1 ブロックの平均排水量を計算し、これを全水田に適用した。I については、 $\angle S$  が 湛水深下限値  $f_L$  より小さくなったとき、用水供給が始まり、 $\angle S$  が湛水深上限値  $f_H$  に達するまで続くものと仮定して計算した。 $f_L$ 、 $f_H$  は、精密調査水田で水質と同じ頻度で測定した湛水深をもとに、灌漑期間開始から 6 月の中旬まで（区分 A）、6 月中旬から穂肥時期までの中干し期間（区分 B）と穂肥時期以降（区分 C）の 3 期間に区分して設定した（表 2-5）。 $\angle S$  の初期値は 50 mm とした。全用水余り量は、Out1 で実測した水量から、D と全水田面積から計算した全排水量を差し引いて計算した。浸透量は文献の透水係数を参考にして 3mm/day、蒸発散は文献<sup>11)</sup>から 5.5mm/day とし、降雨量は、実験小流域に最も近い雨量観測施設である滋賀県立琵琶湖博物館（約 10km）による観測データを用いた。整理した水収支を表 2-5 に示す。用水負荷量や総排水負荷量は、それぞれ In1 で実測した用水水質と用水量 I から、または Out1 での実測水質と排水量から、区間代表法により計算した。排水負荷量は、Out1 における総排水負荷量から各地点で流入する総用水余り負荷量を差し引いて算定した。総用水余り負荷量は、Out1 で実測した水量から総排水量を差し引いて計算した用水余り水量と用水水質を乗じて算定した。

$$LD = Ld - Li \quad (2)$$

ここに LD は排水負荷量、Ld は総排水路負荷量、Li は用水余り負荷量。

表 2-5 維持湛水深設定値 (mm)

年		区分A	区分B	区分C
2008年	$f_L$	150	0	60
	$f_H$	200	0	180
2009年	$f_L$	50	0	0
	$f_H$	100	0	80

### 2.5.2 汚濁負荷量の変動特性

算定した排水水質は、用水余りを計算により除いていることから、水田において実測した田面水水質とほぼ同じと考えられる。図 2-8 に算定した排水水質と実測した田面水水質の平均値とばらつきを示す。各水質項目において、ピークの時期は一致しなかったが、平均値や水質のばらつきでは図 2-8 のように良好な結果であったことから、2.5.1 における負荷量収支の計算は概ね正しいと考えられる。図 2-9, 2-10 に汚濁物質の流入・流出負荷量を経時的に示す。水収支については、「Ⅰ代かき・田植時期」には、用排水量がともに大きくなった。用水は、中干し（6 月中旬～下旬）の後、「Ⅲ穂肥時期」、「Ⅳ穂肥後」には間断灌漑されたが、2009 年のⅢ、Ⅳ期は降雨が多かったため 2008 年と比較すると用水量は少なくなった。排水量のピークは、2008 年では 5 月 14 日に記録した。これは転作田から大量に排水されてきたためである。2009 年では 5 月 7 日に記録し、これは各項目のピークと一致した。この日には 35.5mm の降雨があり、翌日の田植のために排水された。SS については、排水では総排出負荷量のうち、「Ⅰ代かき・田植時期」が占める割合が 2008 年で 52.3%、2009 年で 74.6% と高い値となっていた。2009 年では、このⅠ期のピークが異常に高く、245kg/ha/day となり 2008 年のⅠ期のピークの 1.9 倍となった。TN については、6・7 月の流出に大きく違いがみられ、2009 年の「Ⅱ代かき・田植後」と比べ、2008 年では同年の穂肥時期程度の流出がみられる。これは、2008 年は転作後に水稻を始めた水田が 2009 年に比べて多かったからであると考えられる。TP については、TN とほぼ同様の流出傾向が見て取れたが、TP でのみ 6 月中旬の中干しの流出の直後にピークがみられる。これは一部の水田において追肥がなされ、追肥に使用された肥料の窒素：リン比率が 0 : 0.46 であったため、このピークが TP のみ現れたと考える。COD については、2008 年の COD のみ、代かき・田植時期以外で流出負荷量のピークが検出された。ピークがあったのは、6 月中旬で、中干前で水田にずっと湛水されていたため、COD が増加したものと考えられる。2009 年では、代かき・田植時期の負荷量が著しく大きなものとなった。両年ともに栄養塩の流出のピークは代かき・田植時期に記録しており、次いで穂肥時期に高くなった。図 2-11 に排水流量と排水負荷量の関係を示す。代かきを行った当日と思われる日の排水負荷量については、顕著高い値が見られたが、それ以外では他の時期より少し高い程度の負荷量であった。

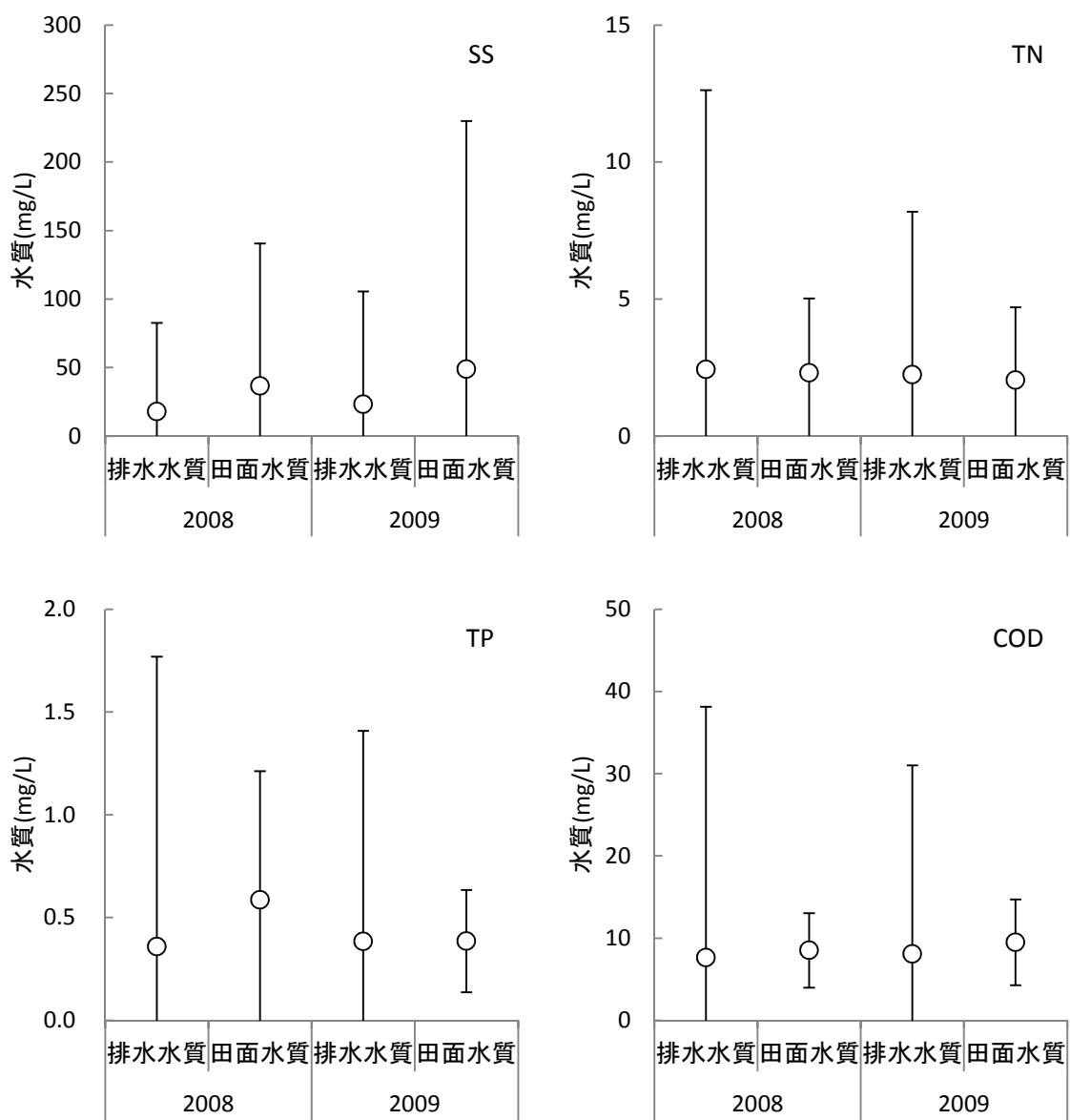


図 2-8 算定した排水水質と実測した田面水質の比較

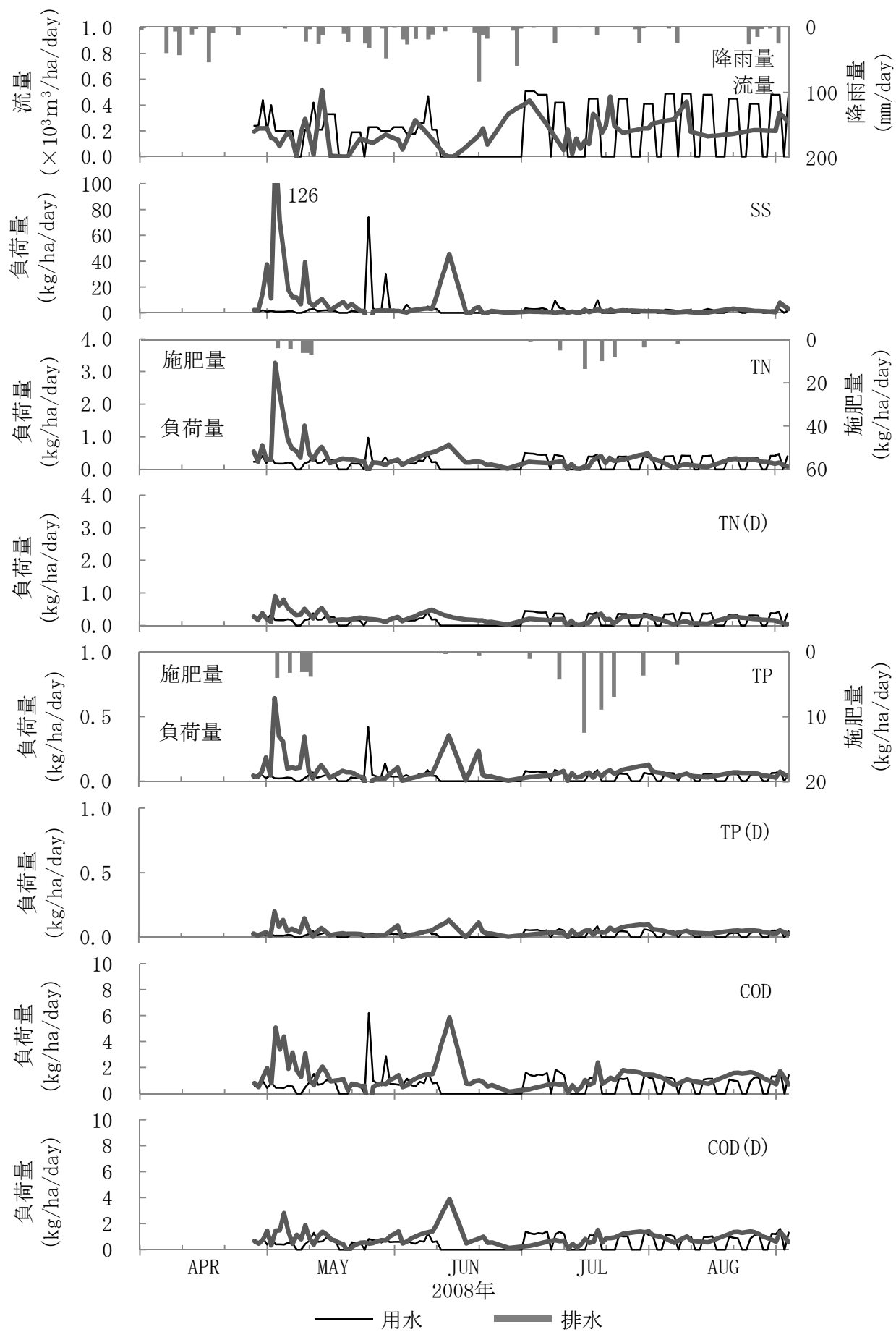


圖 2-9 2008 年負荷量變動



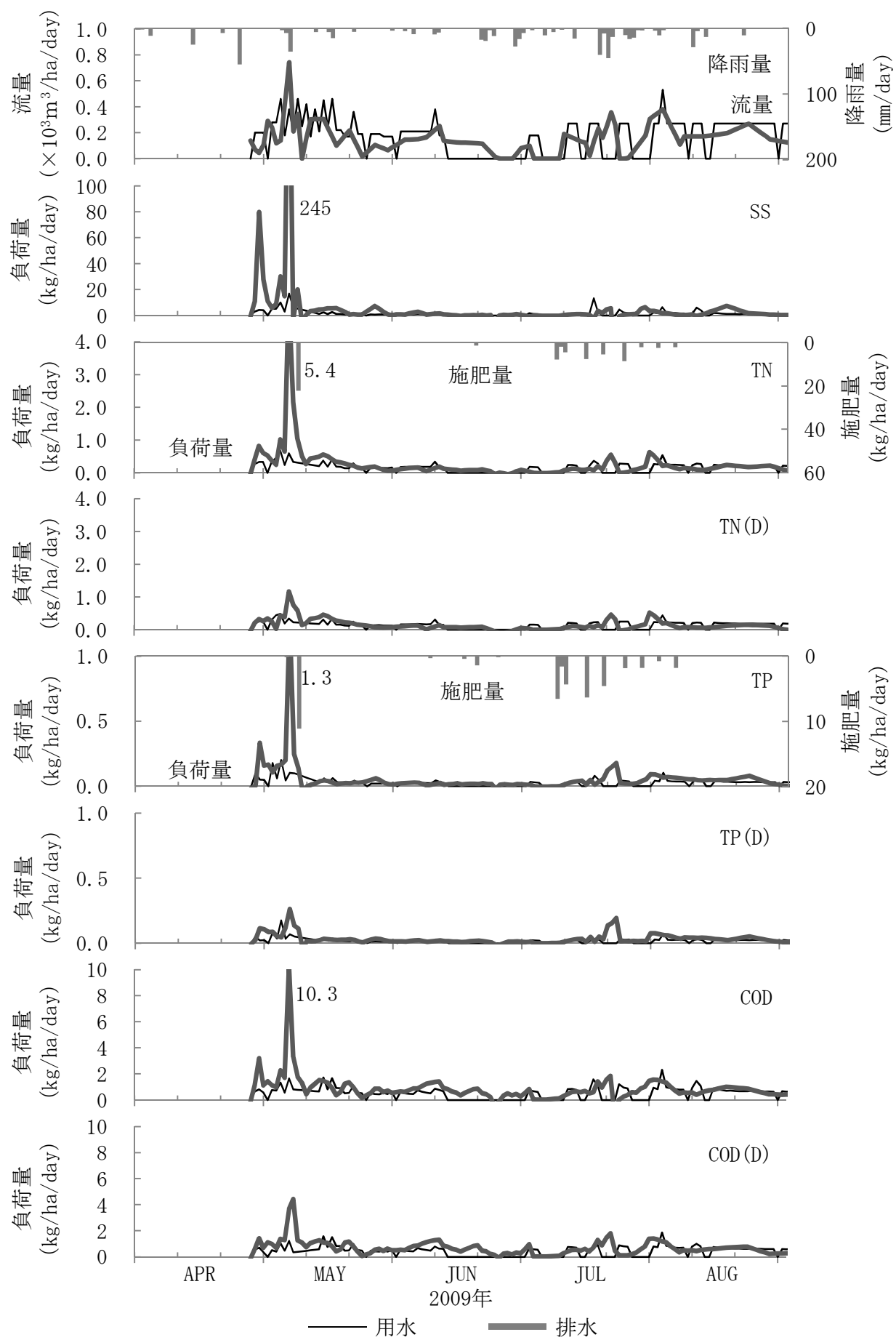


图 2-10 2009 年負荷量變動

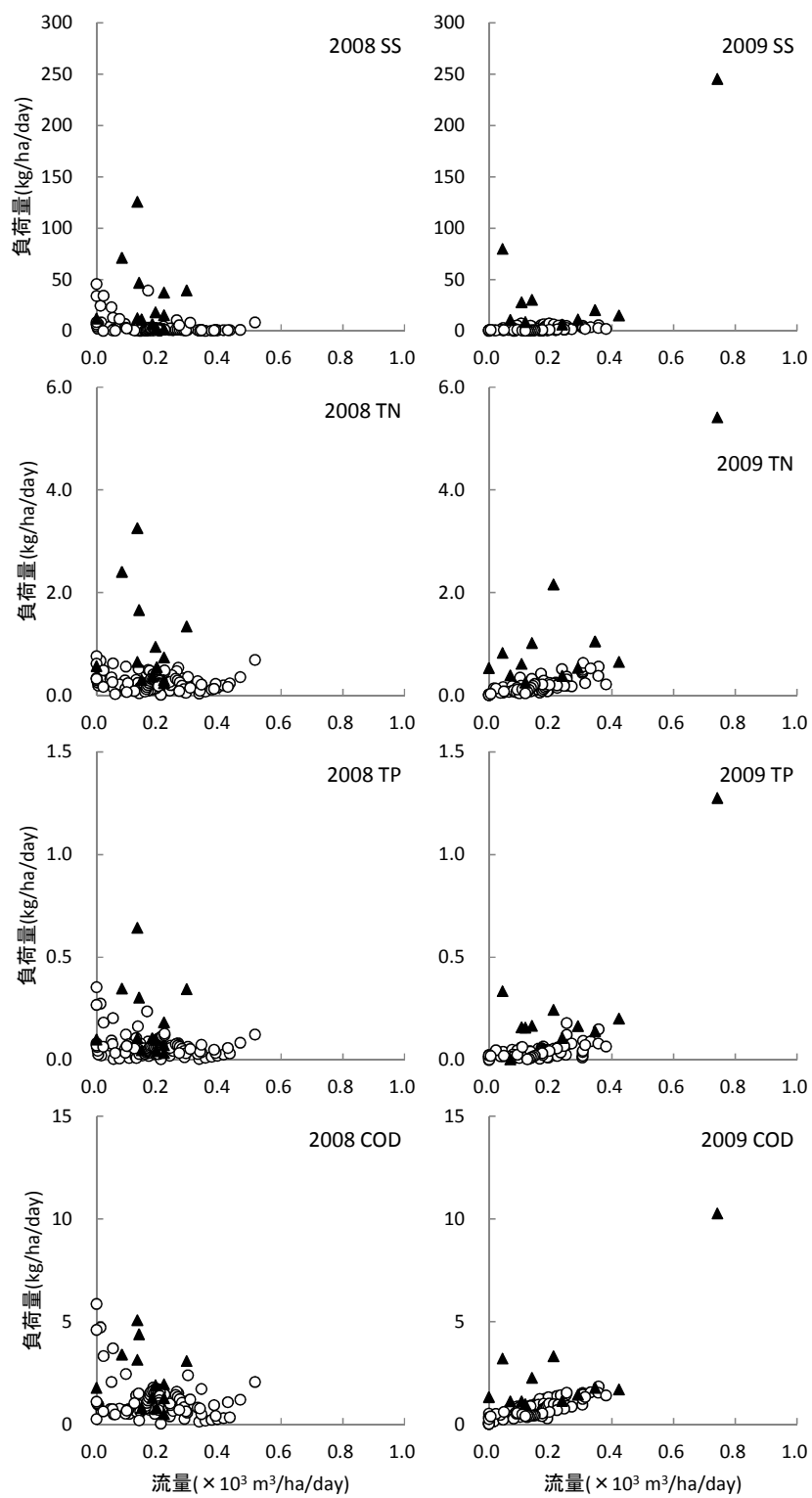


図 2-11 排水流量と排水負荷量の関係 (▲ : 代かき・田植え期間, ○ : 代かき・田植え期間以外)

### 2.5.3 汚濁負荷量の収支

流入要素（流入）に、用水・降雨・施肥を、流出要素（流出）に排水・浸透とした。また、水田からの正味排出量として、流出と用水の差（流出－用水）を示した。用水、排水、浸透の値は前述した負荷量を期間ごとに整理して使用しており、施肥の値は農業組合へのヒアリング調査から得た施肥に関するデータより、施肥量と肥料の N,P 構成比から N,P 量を算定している。降雨の値は前述した降雨量と、大学の敷地内での実測データから計算している。整理した結果を表 2-6～表 2-8 に示す。水収支について、灌漑期間全体では 2008 年に比較して 2009 年の各要素が大きくなっていた。これは、年間の降雨量が 1.4mm/day 大きいためであると考ええる。しかし、「I 代かき・田植え時期」では 2009 年の降雨量が多く、用水量と排水量の値も 2008 年に比較して大きな値となった。表 2-9 の他の論文での水収支と比較すると、用排水量に関して杉本ら<sup>11)</sup>の事例とよく似た水収支となっていた。SS 収支では、2008 年には用水負荷量で 279kg/ha、排水負荷量 765kg/ha で、正味排出負荷量は 485kg/ha となり、用水負荷量の 2.7 倍の排出負荷量が出ていた。この正味排出負荷量のうち約 8 割は代かき・田植時期に排出されていた。2009 年では用水負荷量で 199kg/ha、排水負荷量 598kg/ha で、正味排出負荷量は 400kg/ha となり、すべての値で前年度の 7-8 割程度に抑えていた。しかし、「I 代かき・田植え時期」は排水負荷量が 1 割程度増加していた。TN 収支では、2008 年、2009 年においても「I 代かき・田植時期」の施肥量が「III 穂肥時期」の施肥量を下回ったが、排出負荷量では逆に「I 代かき・田植時期」の方が大きくなった。「I 代かき・田植時期」に流出する SS とともに窒素成分が流出している点と、稲の吸収率は元肥と穂肥を比較すると、穂肥の方が大きい<sup>13)</sup>点から、流出する負荷量は「I 代かき・田植時期」の方が大きくなったと考えられる。用水負荷量、排水負荷量の 2 年の平均値はそれぞれ、22.9kg/ha、37.2kg/ha となり、正味排出負荷量では平均すると、30.2kg/ha だった。各地の調査事例（表 2-10）<sup>6),11),14)</sup>と比較すると、用排水負荷量では近藤ら<sup>14)</sup>の開水路地区と同程度の値であったが、差し引きした正味排出負荷量では杉本ら<sup>11)</sup>の事例と類似していた。TP 収支では、TN と同様に、「I 代かき・田植時期」よりも「III 穂肥時期」の施肥量は少なかったにも関わらず、排出量では「I 代かき・田植時期」が高くなった。また、2 年の正味排出負荷量の平均は 9.07kg/ha、用水負荷量、排水負荷量の平均値はそれぞれ、7.92kg/ha、8.11kg/ha であった。表 2-10 に他地域の TP 収支の結果を示す。TN 収支では近藤らの事例と同程度の負荷量となっていたが、TP 収支では武田ら<sup>6)</sup>の事例の用排水負荷量と同程度の負荷量となった。原因としては、近藤らの事例では代かき・田植時期の TP 濃度が本研究と比較して 1/4 程度であったことから、土壤に含まれるリン量が少なかったと推測される。COD 収支では、SS と同様の傾向がみられた。COD は TN や TP と違い、水田内で生産されるため、よほど用水の値が高くない限り排水の方が高くなると考える。

表 2-6  
水収支  
(mm/day)

年	調査期間	流入				流出			
		用水	降雨	排水	蒸発	蒸散	用水	降雨	排水
2008年	I 代かき・田植時期	21.0	2.0	16.6	3.0	5.5			
	II 代かき・田植後	16.8	8.5	16.9	2.4	4.5			
	III 穂肥時期	15.6	1.1	18.3	3.0	5.5			
	IV 穂肥後	27.9	3.3	22.5	3.0	5.5			
	灌漑期間全体	20.9	5.4	19.0	2.8	5.1			
2009年	I 代かき・田植時期	23.8	3.6	22.0	2.8	5.2			
	II 代かき・田植後	13.4	3.3	11.6	2.3	4.3			
	III 穂肥時期	10.8	10.5	13.3	2.5	4.5			
	IV 穂肥後	23.8	2.5	20.7	2.2	4.1			
	灌漑期間全体	17.1	4.0	15.4	2.4	4.4			

表 2-7  
負荷量収支  
(kg/ha)

年	調査期間	SS				TN				TP				COD			
		流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水	流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水	流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水	流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水
2008年	I 代かき・田植時期	13	400	2.6	0.4	21.1	13.3	0.9	11.6	0.32	0.01	13.5	2.42	1.12	3.22	6.3	0.5
	II 代かき・田植後	191	282	91	10.8	7.8	17.0	6.4	12.7	2.10	0.14	6.1	3.83	2.45	4.18	40.4	10.5
	III 穂肥時期	22	16	-6	2.1	0.2	37.0	2.7	1.8	0.34	0.00	32.5	0.74	0.36	0.75	7.6	0.3
	IV 穂肥後	54	67	12	9.9	2.1	5.6	9.6	7.7	1.46	0.04	5.6	2.50	1.48	2.52	29.6	2.8
	灌漑期間全体	279	765	485	25.4	10.5	71.6	42.6	16.9	4.23	0.19	57.8	9.50	5.40	10.7	83.8	14.2
2009年	I 代かき・田植時期	68	447	379	4.2	0.7	22.6	13.7	10.3	1.05	0.01	11.3	2.89	1.00	2.85	9.4	1.0
	II 代かき・田植後	50	86	36	7.5	3.3	15.8	8.9	6.5	1.17	0.06	14.8	1.28	2.07	2.18	26.3	4.5
	III 穂肥時期	26	-7	-33	1.7	2.4	23.8	2.4	2.6	0.28	0.04	14.6	0.82	0.35	0.89	6.4	3.3
	IV 穂肥後	55	72	18	7.0	1.3	4.7	6.6	5.1	1.12	0.02	2.6	1.73	0.94	1.55	24.3	1.8
	灌漑期間全体	199	598	400	20.4	7.8	66.8	31.7	15.0	3.62	0.14	43.3	6.72	4.36	7.47	66.5	10.6

表 2-8  
溶存態の負荷量収支  
(g/ha)

年	調査期間	TN				TP				COD			
		流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水	流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水	流入 用水	流出 排水	流入 用水	流出 -用水
2008年	I 代かき・田植時期	2.4	5.6	3.2	0.20	0.88	0.69	5.7	15.0	9.3			
	II 代かき・田植後	8.6	12.8	4.2	1.12	2.22	1.10	27.5	52.1	24.6			
	III 穂肥時期	1.9	2.1	0.3	0.30	0.55	0.24	6.2	9.1	2.8			
	IV 穂肥後	8.9	7.1	-1.8	1.08	2.11	1.03	27.0	41.3	14.3			
	灌漑期間全体	21.7	27.7	6.0	2.71	5.77	3.1	66.4	117.4	51.1			
2009年	I 代かき・田植時期	3.1	4.9	1.8	0.63	1.10	0.47	6.4	18.5	12.1			
	II 代かき・田植後	6.5	6.8	0.3	0.71	1.00	0.29	23.4	37.6	14.2			
	III 穂肥時期	1.4	2.0	0.6	0.15	0.74	0.59	4.7	9.9	5.2			
	IV 穂肥後	6.1	4.4	-1.7	0.77	1.28	0.50	21.2	21.7	0.5			
	灌漑期間全体	17.1	18.2	1.0	2.26	4.12	1.85	55.7	87.7	32.0			

表 2-9 水収支に関する先行事例 (mm/day)

先行事例		流入		流出		
		用水	降雨	排水	浸透	蒸発散
武田ら <sup>6)</sup>	1987	27.1	5.0	12.4	15.1	4.6
	1988	27.1	8.2	17.8	13.6	3.9
杉本ら <sup>13)</sup>	2004	15.3	5.5	16.2	0.5	4.1
	2005	10.7	4.2	10.5	0.5	3.9
	2006	12.6	5.5	13.8	0.5	3.8
近藤ら <sup>14)</sup>	1985	14.7	4.8	13.0	1.3	4.7
	1986	9.0	2.9	8.3	0.0	3.6
	1988	8.5	4.2	5.7	3.0	3.7

表 2-10 負荷量収支に関する先行事例 (kg/ha)

先行事例		TN							TP					
		流入			流出		流出 -用水		流入			流出		流出 -用水
		用水	降雨	施肥	排水	浸透			用水	降雨	施肥	排水	浸透	
武田ら <sup>6)</sup>	1987	42.1	6.0	-	42.1	73.9	73.9		4.9	0.1	-	5.5	6.4	7.0
	1988	82.6	11.0	-	48.0	52.5	17.9		9.8	0.2	-	9.3	8.4	8.0
杉本ら <sup>13)</sup>	2004	9.1	6.6	83.0	35.8	1.2	27.9		-	-	-	-	-	-
	2005	7.0	7.0	72.0	23.6	1.0	17.6		-	-	-	-	-	-
	2006	7.6	6.8	78.0	28.7	1.0	22.1		-	-	-	-	-	-
近藤ら <sup>14)</sup>	1985	31.9	4.1	-	43.8	6.0	17.9		3.5	0.2	-	4.3	1.0	1.8
	1986	14.0	3.0	-	25.8	-	11.8		1.2	0.1	-	3.9	-	2.7
	1988	12.6	5.7	-	18.6	9.0	15.0		0.7	0.1	-	2.5	1.4	3.2

## 2.6 環境こだわり農業の影響評価

図 2-12 に 2008 年と 2009 年の施肥量を示す。またここには、実験小流域内で環境こだわり農業を行っている水田の施肥量を併せて示している。実験小流域における環境こだわり水田面積割合は、2008 年に 29.6%，2009 年に 66.3%である。仮に環境こだわり水田面積割合が 100%となった場合の施肥量は、実験小流域内の環境こだわりをしているある水田の施肥量と同じであるとした。表 2-7 の正味排出負荷量と、その時の施肥量を直線回帰することで、環境こだわり農業の面積割合が 100%となる場合の TN と TP の正味排出負荷量を推計すると TN で-4.7kg/ha，TP で 7.2kg/ha となった。TP ではほとんど効果が見られないことが分かる。一方で、TN では負の値となったが、水田から土壌が流出することを考えると、流出負荷量はある正の値で一定になると考えられる。

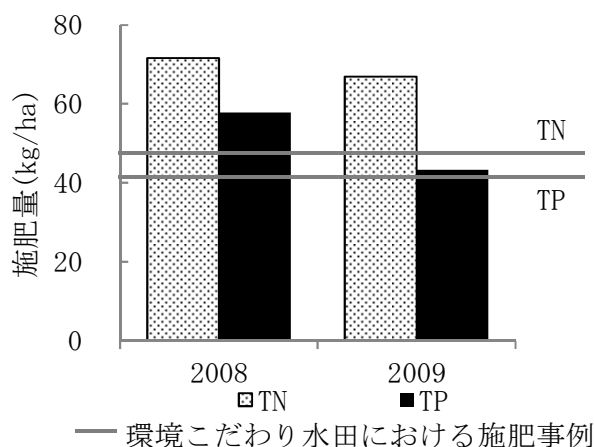


図 2-12 灌漑期間全体の施肥量推移

## 2.7 まとめ

2007年から2009年に実験小流域において、灌漑期の詳細な実態調査を行い、汚濁物質の挙動と収支を検討した。また、実態調査の結果をもとに2008年と2009年において水田の詳細な汚濁物質収支の検討を行った。以下に結果をまとめる。

- ① すべての排水路水質で「I代かき・田植え時期」ピークを記録した。この時期のSS粒径は他の時期のものより小さい。窒素やリン等を多く含んだ容易に沈殿しない微細な粒子が受水域の水質に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。
- ② TNにおける浸透水質では灌漑期の前半に上昇し後半は一定の値に落ち着き、TPやCODではTNと反対に灌漑期の後半に水質が上昇する傾向が見られた。
- ③ 水田の流出入要素を細かく分けて水田の収支をとって正味排出負荷量を算定すると、日数では10%程度しかない代かき・田植え時期の負荷流出割合が高いものとなり、特にSSでは8割以上、他の項目でも30%~48%をこの期間に流出させている結果となった。このことから、灌漑期間において最も大きい流出要因であることが確認された。
- ④ 水田小流域内において環境こだわり農業を実施し施肥量を減らすことで、流出する負荷量を一定削減できることが確認された。

本研究では灌漑期間の流出のみであったため、降雨時や非灌漑期、延いては年間を通じての検討まで及ばなかった。今後、降雨時と非灌漑期の流出のデータの蓄積により、非灌漑期及び年間を通じての負荷量の検討ができるものとする。

#### 参考文献

- 1) 環境省；平成 24 年度版 環境白書
- 2) Atsushi ICHIKI, Kazuma KAMIMURA, Yoshihide NAKATANI, Takuya OKUBO, 6th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution.
- 3) Atsushi ICHIKI, Kazuma KAMIMURA, Yoshihide NAKATANI, Takuya OKUBO, 7th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution
- 4) Atsushi ICHIKI, Aki TAKEUCHI, Tomoo ARAKI, Kenta NAKAJIMA, 8th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution.
- 5) 滋賀県；環境こだわり農業営農技術指針，2004
- 6) 武田育郎，國松孝男，小林慎太郎，丸山利輔；水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷－水田群からの汚濁負荷流出に関する研究(Ⅱ)-，農業土木学会論文集，(153)，PP.63-72，1991
- 7) 宇土顕彦，竺文彦，大久保卓也，中村正久：灌漑期の水田における水量収支と栄養塩収支，水環境学会誌，23 (5)，PP.298-304，2000
- 8) 園田敬太郎，徳田裕二，岡本佐知子，田中靖志，北野亮，大橋恭一：水田群からの栄養塩類発生負荷量調査(第 1 報) 水稻作付期間の水田群栄養塩類発生負荷量について，滋賀県農業試験場研究報告，(38)，PP.57～65，1997
- 9) 建設省都市局下水道部・厚生省生活衛生局水道環境部：下水道試験法，1997
- 10) 土壤養分測定法委員会：土壤養分分析法，養賢堂，1970
- 11) 農業土木学会：農業土木ハンドブック，p189，1979
- 12) 滋賀県農業試験場：水田における窒素の動態と環境への影響評価に関する研究，1992
- 13) Yoshitaka SUGIMOTO, Yukio KOMAI, Takao KUNIMATSU : Evaluation of Loading Rate of Nitrogen from Rice-Paddies by Small Watershed Method ; Journal of Water and Environment Technology , (6) , pp113-126, 2008
- 14) 近藤正，三沢真一，豊田勝；北陸地方の沖積平地水田における N,P 負荷量の流出特性-新潟平野での測定結果とその特徴-，農業土木学会論文集，(159)，pp.17-27，1992





## 第3章 流域からの汚濁物流出とその管理手法に関する実証的研究

### 3.1 緒言

琵琶湖は日本で最も大きな湖であり、近畿の 1,400 万人により飲用水源として使用されている。琵琶湖へは 100 以上の流入河川が流入しており、それらの流入水は琵琶湖の水質に影響を与えている。特に、降雨によるノンポイントソースからの汚濁は懸念されているもののひとつである。このようなノンポイントソースからの汚濁物の挙動は多くの先行研究で議論され<sup>1),2)</sup>、またシミュレーションモデルを用いたモデル化も図られている<sup>3),4)</sup>。都市部においては、多環芳香族炭化水素 (PAHs) や重金属類が発癌性・内分泌かく乱性を有していることや、難分解性であり多くが生体内に蓄積されやすいことなどから特に議論されている<sup>5)</sup>。都市交通由来の毒性物質に関する多くの調査も行われているが<sup>6)-9)</sup>、その流出抑制に関するものは多くない。流出調査をもとに雨水滞水池を想定した汚濁物流出抑制手法を検討した例<sup>10),11)</sup>などはあるものの、実施設において、充実した実測データをもとに汚濁物流出抑制効果を検討した報告は少ない。水田をはじめとする農地では、代掻き濁水にともなう栄養塩の流出などが特に問題となっている。水田における汚濁物流出調査はこれまで多く行われている<sup>12)-14)</sup>ものの、非灌漑期についてのデータは少ない。また、流末における農地由来汚濁の流出抑制に関する知見はない。滋賀県では琵琶湖集水域の総合管理のために、マザーレイク 21 計画<sup>15)</sup>を 2000 年に策定した。これは湖の水質を 2050 年に 1950 年代の水質と同等とすることを目標にしている。このマザーレイク 21 計画により、琵琶湖沿岸にはいくつかの排水処理施設が設けられており、そのひとつに M 川河川浄化施設がある。M 川河川浄化施設は、1997 年に建設され、琵琶湖の水質改善を意図して運転が行われている。本報告は、本施設を対象として水質モニタリング調査を行い、こうした施設における汚濁物の挙動特性と負荷量収支の把握を行ったものである。

### 3.2 対象施設の概要

M 川は赤野井湾に流入する 8 河川のひとつである。M 川の流域人口は 18,000 人で、集水面積は 2.15km<sup>2</sup> である。集水面積のほとんどが都市部と水田で占められている (図 3-1)。M 川河川浄化施設は、前処理施設、出水時一時貯留池 (以後、一時貯留池)、植生浄化施設により構成される (表 3-1)。M 川より本施設へ取り込まれた河川水は、平水時には、前処理施設で不織布による接触酸化処理された後、後段の植生浄化施設へと排出される。植生浄化施設の水理学的滞留時間は 3 時間 (計画値) ~ 6 時間程度 (実測値) である。出水時には、M 川において濁度 20 度以上かつ時間降雨強度 5mm/h 以上が観測されると、一時貯留池へ河川水の取り込みが開始され、一時貯留池が満水となるまでこれが継続される。一時貯留池稼働条件は、2011 年 5 月 16 日からは濁度 15 度以上かつ時間降雨強度 3mm/h へ変更されている。一時貯留池では、満水となってから 12 時間の静置による汚濁物の沈殿除去が行われた後、上澄み水が後段の植生浄化施設へと排出される (図 3-2)。しかし、降雨が激しく河川からの溢水が懸念される場合には、取水堰が自動的に倒伏し、河川水は本施設に取り込まれない。この取水堰は、降雨が終了した後、手動で起動される。これまで前処理施設では、年 1 回の汚泥の引き抜きが行われてきているが、一時貯留池の底泥浚渫は行われていない。植生浄化施設での植栽の刈り取りは 2 年に 1 度の頻度で行われている。本報告では、流出入成分の水質からみた除去特性を議論している。

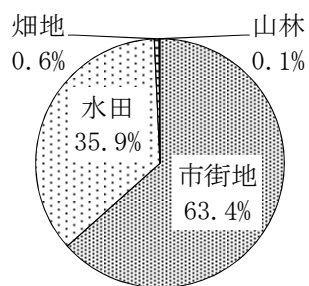


図 3-1 M 川流域の土地利用

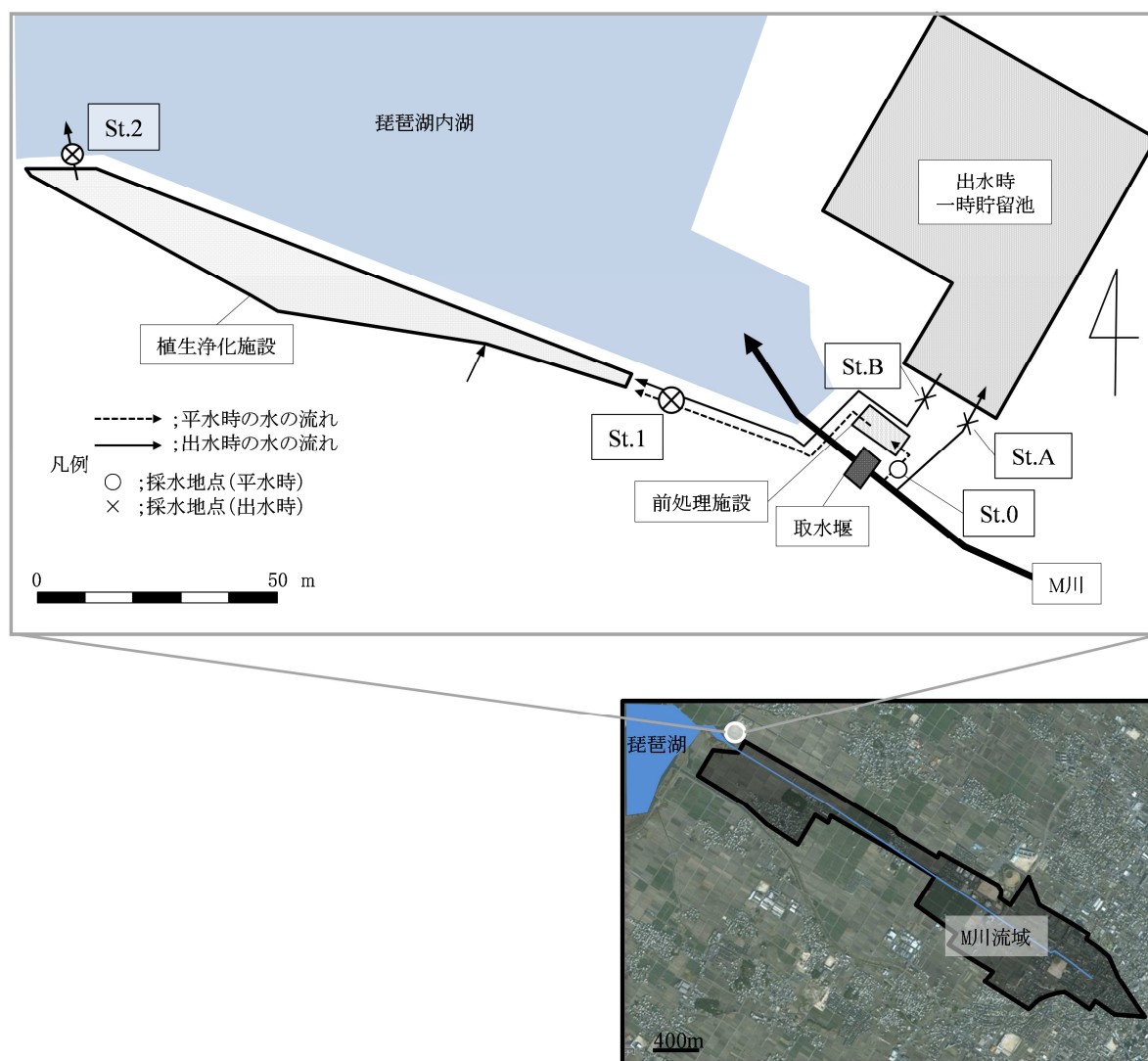


図 3-2 M 川河川浄化施設の概要

表 3-1 M 川河川浄化施設の概要（計画諸元）

	容量	水面 面積	計画 水深	計画 流量	滞留 時間	充填物 ・植栽種
	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup> /h	h	
前処理施設	550	-	-	237.6	2.3	不織布
出水時一時貯留池	17,200	7,530	3.0	-	-	-
植生浄化施設	760	3,862	0.2	237.6	3.2	ヨシ・マコモ

### 3.3 調査方法

#### 3.3.1 平水時調査

平水時における調査は 2008 年 4 月から開始され、2009 年 5 月までは月に 1 回（計 13 回）、2009 年 6 月から 2010 年 7 月までは週に 1 回（計 57 回）、2010 年 8 月から 2011 年 8 月までは再び月に 1 回（計 13 回）の頻度で行われた。平水時調査では、前処理施設流入口(St.0)、植生浄化施設流入口(St.1)および流出口(St.2)の 3 地点で採水・水位測定を行った（図 3-2）。また、St.1 では、流速測定も併せて実施した。水質は、浮遊物質（SS）、全窒素（TN）、全リン（TP）をろ過前の試料について分析し、溶存性窒素（DN）、溶存性リン（DP）はガラス繊維ろ紙（GS25）でろ過した後、分析した。分析は JIS K0102 に準拠して行った。PAHs は、U.S.EPA の奨励する PAHs16 物質<sup>16)</sup>に Triphenylene, Benzo(e)pyrene, Perylene を加えた PAHs19 物質を測定対象とした。測定方法は、ジクロロメタンを溶媒として超音波抽出した後、GC-MS（島津ガスクロマトグラフ質量分析計、GC2010-GCMSQP2010）により検出した。平水時調査結果の概要を表 3-3 に示す。

表 3-2 測定した PAHs19 物質

環数	名称	略称
2	Naphthalene	NAP
3	Acenaphthylene	AYL
3	Acenaphthene	AEN
3	Fluorene	FRE
3	Phenanthrene	PHE
3	Anthracene	ANT
4	Fluoranthene	FLU
4	Pyrene	PYR
4	Chrysene+Triphenylene	C+T
4	Benzo(a)anthracene	BaA
5	Benzo(k)fluoranthene	BkF
5	Benzo(b)fluoranthene	BbF
5	Benzo(a)pyrene	BaP
5	Benzo(e)pyrene	BeP
5	Perylene	PER
6	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	IP
5	Dibenzo(a,h)anthracene	DP
6	Benzo(g,h,i)perylene	BP

表 3-3 平水時調査結果の概要

地点	調査期間			流入水量		SS		TN		TP		2-3ringsPAHs		4ringsPAHs		5-6ringsPAHs	
	開始	終了	回数	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day		mg/L		mg/L		mg/L		ng/L		ng/L		ng/L	
St.0				min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
St.1	2008/4	2011/8	83	0.6	15.8	0.25	21	0.14	3.72	0.01	0.35	0.1	137	0.03	18	0.92	1276
St.2						0.10	46	0.11	3.68	0.01	0.53	0.6	159	0.10	29	0.73	9225

#### 3.3.2 出水時調査

出水時の調査で対象とした 2008 年 4 月から 2011 年 7 月末までの間に、出水による一時貯留池の稼働は 34 回あった。そのうち、出水時調査を 14 回行った。出水時調査では、一時貯留池の流入口（St.A）および流出口（St.B）にそれぞれ自動採水機（St.A ; ISCO 3700 型、St.B ; ISCO 2700 型）を設置し、サンプルを採水した。採水は、St.A では 20 分毎に、St.B では 1 時間毎に行い、流入・流出が終了するまでこれを継続した。また、St.B 付近には自記水位計（STS MC-1100W）を設置し、常時一時貯留池内の水位を計測した。一時貯留池の流入口で 20 分毎に採水したサンプルは 1 時間毎に、流出口で 1 時間毎に採水したサンプルは 3～5 時間毎に、それぞれ流量について加重平均のうえコンポジットした後、水質成分を平水時調査と同様に分析した。一時貯留池から静置後上澄み水が植生浄化施設へ排出される際は、St.1 にて 2 時間毎に採水と水位測定を行うとともに、これと対応して St.2 にて理論滞留時間に対応する時間に採水を行った。理論滞留時間は、St.1 において測定された各流入水量で植生浄化施設内貯留水量を除すことによって算出した。採水したサンプルはコンポジットせず、そのまま水質成分を平水時調査と同様に分析した。出水時調査結果の概要を表 3-4 に示す。

表 3-4-1 出水時調査結果の概要

調査 年	総降 雨量	流入 水量	SS mg/L	TN				TP				2-3ringsPAHs				4ringsPAHs				5-6ringsPAHs				BP ng/L																									
				(T) mg/L	(D) mg/L	(T) mg/L	(D) mg/L	NAP ng/L	NAP ng/L	AYL ng/L	AYL ng/L	AEN ng/L	AEN ng/L	FRE ng/L	PHE ng/L	ANT ng/L	ANT ng/L	FLU ng/L	FLU ng/L	PYR ng/L	C-1 ng/L	C-1 ng/L	BaA ng/L		BaA ng/L	BbF ng/L	BbF ng/L	BaP ng/L	BaP ng/L	PER ng/L	IP ng/L	IP ng/L	DP ng/L	DP ng/L															
5/20	31.0	1628	181.6	3.4	4.1	0.8	2.1	0.7	0.87	0.21	0.14	0.16	75.6	22.0	1.95	0.85	13.92	1.73	25.54	3.06	194.3	27.8	20.72	3.15	61.21	9.81	40.64	6.83	3.85	0.51	7.44	0.86	13.10	1.47	62.2	0.46	17.28	3.29	4.10	0.32	5.61	0.32	3.60	0.48	1.19	0.37	10.59	0.93	
5/25	54.0	1217	564.0	11.0	7.3	1.4	1.4	1.1	1.49	0.23	0.17	0.17	127.2	16.9	1.37	0.13	9.00	0.83	19.59	1.66	205.5	15.2	19.57	2.24	45.07	3.64	28.82	2.04	3.15	0.13	6.18	0.15	11.68	0.44	3.67	0.12	20.63	5.24	5.12	0.28	6.45	0.23	5.09	0.22	2.05	0.33	8.83	0.40	
2008	6/29	57.0	1749	788	6.4	1.6	0.8	0.7	0.44	0.23	0.22	0.18	50.2	11.6	1.08	0.31	2.47	0.68	5.08	0.97	69.2	10.3	5.69	1.26	44.09	4.71	34.01	2.99	1.78	0.53	7.76	0.47	17.48	1.76	5.87	0.29	30.93	3.19	5.74	0.45	8.04	0.58	9.48	0.77	1.45	0.34	11.21	0.99	
	9/26	17.0	1895	369	6.7	2.1	1.3	1.4	1.2	0.32	0.18	0.22	0.13	14.5	18.0	0.14	0.06	1.08	0.19	1.79	1.11	12.4	13.4	2.04	3.94	3.51	2.41	2.27	0.17	0.10	0.43	0.26	1.16	0.61	2.42	1.17	0.27	0.09	1.06	0.16	0.58	0.37	0.38	0.30	0.81	0.46			
2009	10/6	30.0	-	13.3	7.6	1.9	1.5	1.5	1.2	0.66	0.68	0.45	0.45	22.2	12.4	0.21	0.10	1.46	0.56	2.43	1.04	24.1	12.4	3.54	1.65	8.56	3.15	5.02	1.75	0.43	0.08	1.33	0.16	5.22	0.34	0.28	0.11	4.16	0.76	0.87	0.13	1.20	0.24	1.55	0.31	0.47	0.21	3.24	0.48
	10/24	34.0	15.86	28.0	-	2.1	-	1.7	-	0.24	-	0.14	-	41.4	-	0.28	-	2.11	-	3.29	-	33.8	-	7.98	-	5.23	-	0.13	-	0.53	-	0.71	-	0.48	-	1.77	-	0.68	-	0.40	-	0.17	-	0.68	-	-	-		
2009	6/29	27.0	19.89	71.3	12.0	1.9	1.4	1.3	1.2	0.38	0.18	0.11	0.14	262.7	104.3	0.71	0.25	1.25	0.45	2.14	0.69	30.9	11.9	2.86	0.62	9.15	3.89	5.65	2.18	1.36	0.37	0.30	0.07	1.50	0.45	0.84	0.36	1.96	2.66	0.72	0.80	1.35	0.41	1.12	0.54	1.01	0.44	1.84	0.44
	11/14	16.0	13.24	41.7	28.2	2.7	2.3	1.8	1.6	0.29	0.23	0.10	0.10	215.9	144.6	0.82	0.12	0.85	0.38	0.79	0.37	14.4	5.1	1.90	0.33	14.72	4.97	9.55	4.10	0.49	0.46	0.10	0.34	1.99	1.29	0.60	0.36	2.87	3.41	0.82	0.66	0.66	0.59	0.95	0.67	0.93	0.44	2.25	0.64
2010	5/7	14.0	15.86	92.3	23.8	6.1	3.5	2.8	2.5	0.30	0.16	0.10	4.9	4.0	0.16	0.09	0.69	0.27	0.36	0.17	5.0	1.7	0.47	0.17	1.23	0.39	0.94	0.36	0.31	0.10	0.10	0.05	1.87	0.33	1.19	0.33	6.23	1.61	0.85	0.29	1.70	1.06	3.09	1.29	4.12	2.14	4.90	0.98	
	5/19	10.0	21.36	55.9	8.6	2.9	1.8	1.6	1.4	0.11	0.06	0.06	0.05	5.4	1.7	0.13	0.06	0.43	0.17	0.32	0.13	2.8	1.3	0.26	0.13	0.76	0.37	1.04	0.37	0.27	14.22	0.08	5.94	0.56	0.19	0.58	0.25	3.86	0.99	0.34	0.17	1.18	0.43	15.02	0.45	54.05	1.43	1.57	0.67
2010	6/15	40.0	20.56	102.0	7.5	4.3	2.0	1.3	1.4	0.22	0.10	0.08	0.08	4.1	1.3	0.11	0.04	0.55	0.17	0.33	0.11	3.4	0.7	0.26	0.07	1.07	0.25	1.28	0.22	0.22	0.08	0.10	0.04	1.05	0.13	1.31	0.14	5.02	0.67	0.85	0.24	2.34	0.33	1.91	0.49	1.64	0.77	3.55	0.44
	6/23	19.0	13.23	60.8	12.9	3.2	2.4	2.3	1.8	0.19	0.20	0.11	0.14	12.0	1.1	0.26	0.04	0.43	0.10	0.36	0.07	3.7	0.6	0.30	0.10	1.01	0.32	0.92	0.75	0.21	0.08	0.10	0.04	1.01	0.14	1.30	0.17	3.08	0.84	0.52	0.12	1.71	0.27	2.62	2.60	3.02	0.73	2.80	0.58
2011	7/7	41.0	15.24	118.9	17.7	3.1	1.8	1.9	1.4	0.56	0.14	0.23	0.09	29.2	15.1	0.18	0.05	0.40	0.16	0.06	0.02	1.9	0.7	0.29	0.11	1.01	0.27	1.07	0.24	1.06	0.12	0.55	0.06	1.86	0.24	1.50	0.22	3.10	0.42	2.69	0.31	2.00	0.27	1.34	0.46	0.31	0.14	1.73	0.40
2012	7/20	20.0	17.16	16.1	13.3	1.0	1.5	0.6	1.0	0.14	0.21	0.06	0.17	0.1	0.2	0.08	0.15	0.33	0.68	0.16	0.35	11.4	3.8	0.29	0.13	2.18	0.84	1.30	0.53	0.14	0.08	0.37	0.26	0.63	0.41	1.00	0.57	1.34	1.12	0.41	0.51	0.45	0.83	28.19	7.12	1.30	1.25	19.30	14.94
	11/26	30.0	16.91	28.2	8.5	2.7	2.3	1.9	1.9	0.12	0.12	0.10	0.09	2.0	13.9	0.09	0.04	0.39	0.16	0.47	0.02	4.7	0.7	0.21	0.10	1.25	0.23	0.76	0.21	0.10	0.10	0.47	1.47	0.75	3.88	1.09	4.83	1.10	3.38	0.52	1.46	0.42	0.56	3.41	7.69	2.05	2.86	2.42	5.61

表 3-4-2 出水時調査結果の概要

調査 年月日	SS		TN		TP		2-3ringsPAHs						4ringsPAHs						5-6ringsPAHs																														
	(T)		(D)		(T)		(D)		NAP		AYL		AEN		FRE		PHE		ANT		FLU		PYR		C-T		BaA		BbF		BaP		BeP		PER		IP		DP		BP								
	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2	mg/L	st.1	st.2				
2008	5/20	10.2	10.9	1.2	1.4	1.0	0.8	0.45	0.22	0.09	0.08	16.2	19.7	0.1	0.3	1.1	2.0	1.8	1.1	12.7	19.5	1.3	2.1	2.7	6.2	1.8	4.4	0.1	0.3	0.2	0.7	0.7	1.6	0.2	0.5	3.3	6.6	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	-	-
	5/25	7.4	23.7	1.3	1.4	1.1	0.9	0.16	0.16	0.11	0.08	15.5	24.0	0.1	0.2	1.1	1.1	1.7	1.9	15.7	12.9	1.6	1.4	4.4	3.8	3.0	2.5	0.1	0.2	0.3	0.3	0.7	0.9	0.1	0.2	4.1	3.4	0.1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	-	-	
	6/29	3.7	22.8	0.8	1.2	0.6	0.7	0.25	0.31	0.19	0.16	6.7	12.5	0.1	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	5.5	7.1	0.7	0.9	1.9	2.3	1.3	1.7	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.1	0.2	1.2	2.4	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.5	0.2	0.4	0.3	0.6	-	-
	9/26	3.8	29.2	1.3	1.4	1.1	1.0	0.20	0.29	0.13	0.15	8.6	18.7	0.1	0.2	0.6	0.5	0.9	5.0	9.5	0.5	0.9	1.8	3.2	1.4	2.5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5	0.6	0.1	0.2	1.7	2.6	0.1	0.2	0.1	0.5	0.3	0.6	0.1	0.4	0.7	0.7	-	-	
	10/6	5.9	10.9	1.4	1.2	1.1	0.8	0.24	0.15	0.16	0.13	14.2	20.0	0.0	0.1	0.6	1.0	1.0	1.2	11.8	16.1	2.3	1.9	3.1	3.8	2.0	2.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.5	0.5	-	-	
2009	10/24	15.8	37.9	2.5	2.7	1.9	1.7	0.18	0.20	0.11	0.10	32.5	39.8	0.3	0.3	1.0	1.0	1.3	1.8	17.1	27.3	1.8	3.3	4.9	9.5	3.0	6.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.4	0.2	0.5	1.7	1.4	0.2	0.3	0.3	0.6	0.4	0.6	0.3	0.4	0.6	0.9	-	-
	6/29	13.2	13.4	1.1	0.9	0.9	0.7	0.21	0.15	0.07	0.06	10.5	10.6	0.2	0.3	0.2	0.5	0.6	0.9	8.2	15.1	0.4	1.4	3.4	8.0	2.4	5.4	0.4	0.8	0.0	0.1	0.7	1.0	0.4	0.6	3.6	3.1	0.9	1.1	0.3	0.4	0.3	0.7	0.8	0.7	0.8	-	-	
2009	11/14	16.7	14.4	2.1	1.8	1.6	1.4	0.18	0.15	0.10	0.08	8.5	7.9	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	7.6	6.6	0.8	0.7	6.0	4.9	3.5	3.2	0.5	0.3	0.4	0.2	0.6	0.4	0.2	1.2	1.6	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	-	-	

### 3.4 結果と考察

#### 3.4.1 平水時調査

図 3-3 に平水時の調査結果の一例を示す。流量は、St.0 および St.2 においては、水位計測は可能だが流速が 0 となるなどの理由で計測が困難だったため、St.1 で計測したものを共通に用いている。St.2 では琵琶湖のバックウォーターの影響を受けやすく、琵琶湖水位の高い 4~5 月や取水堰が倒伏する台風のような大雨の際には、琵琶湖から植生浄化施設へ水が流入し、その影響で植生浄化施設内の底質が巻き上がるため、SS が上昇しているところがある。また、2010 年 5 月には、M 川流域内の水田における営農作業のため、前処理施設流入口 (St.0) において SS が高くなり、それにともない TP も上昇している。前処理施設では接触酸化、植生浄化施設では沈殿・分解・吸収などにより汚濁物の除去を図っているため、水量の多い日には滞留時間が短くなり除去効率が低くなることが考えられたが、ここでは水量に依らず、前処理施設や植生浄化施設での水質の低減効果はあまり見られない結果となった。地点ごとの水質のちらばり (図 3-4) をみると、St.0 と比較して St.1 ではおおむねすべての項目の平均値で低い値となっているのに対して、St.1 と比較して St.2 では逆に高い値となっている。しかし、いずれの比較においても水質レベルの差は小さく、平均値  $\pm \sigma$  以内であったため、水質の低減や水質の悪化に関する機能があるとはいえない。

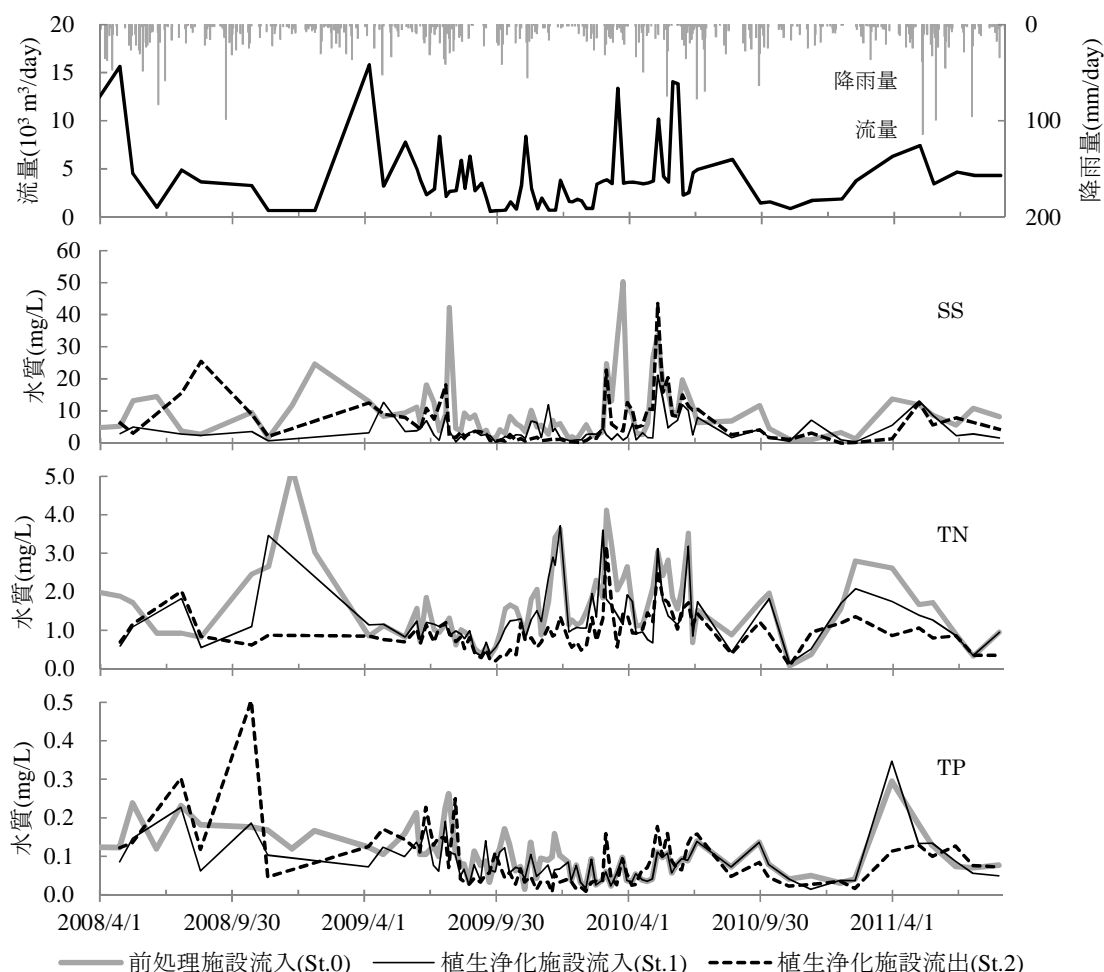


図 3-3-1 平水時調査結果

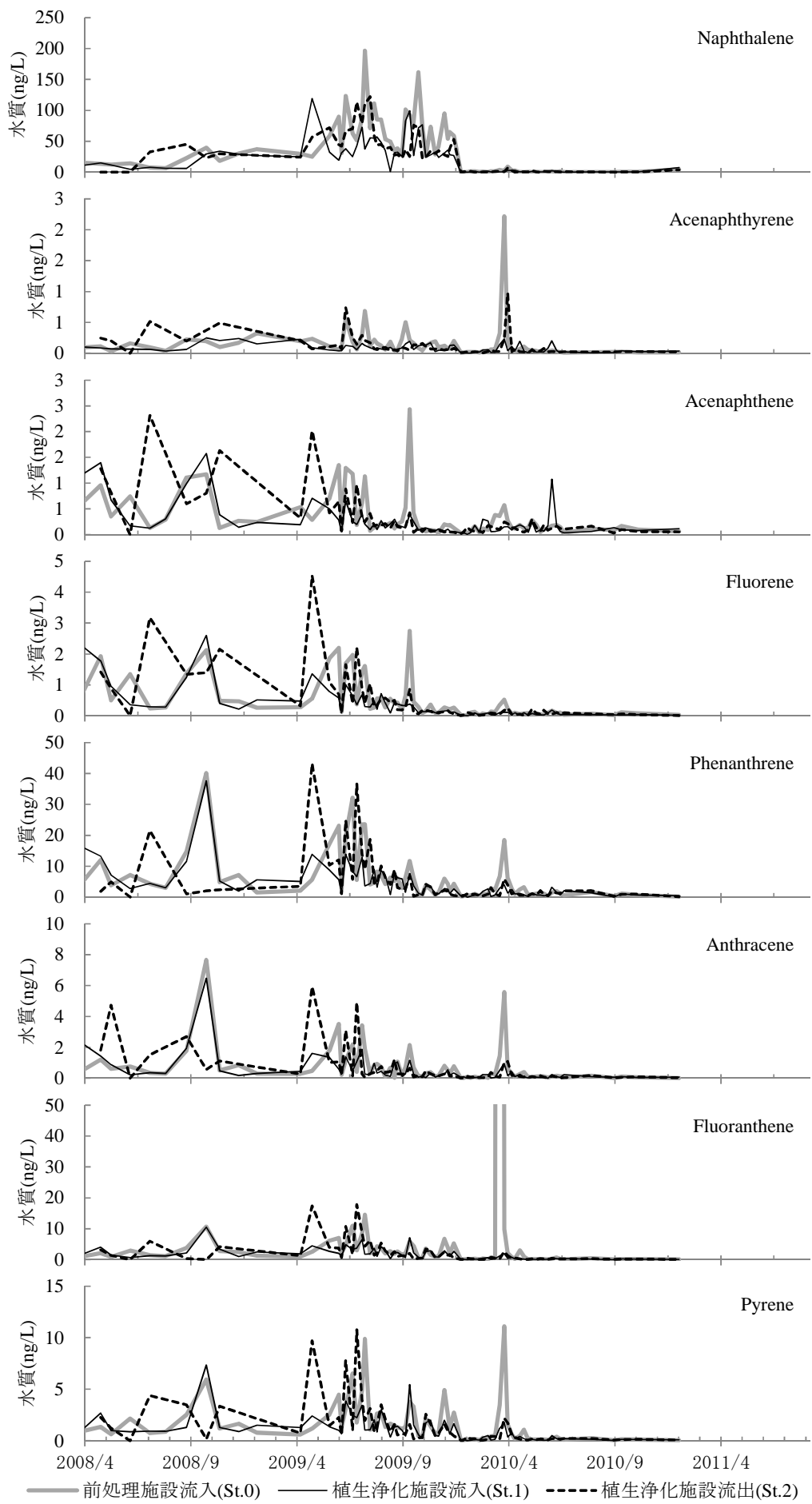


図 3-3-2 平水時調査結果

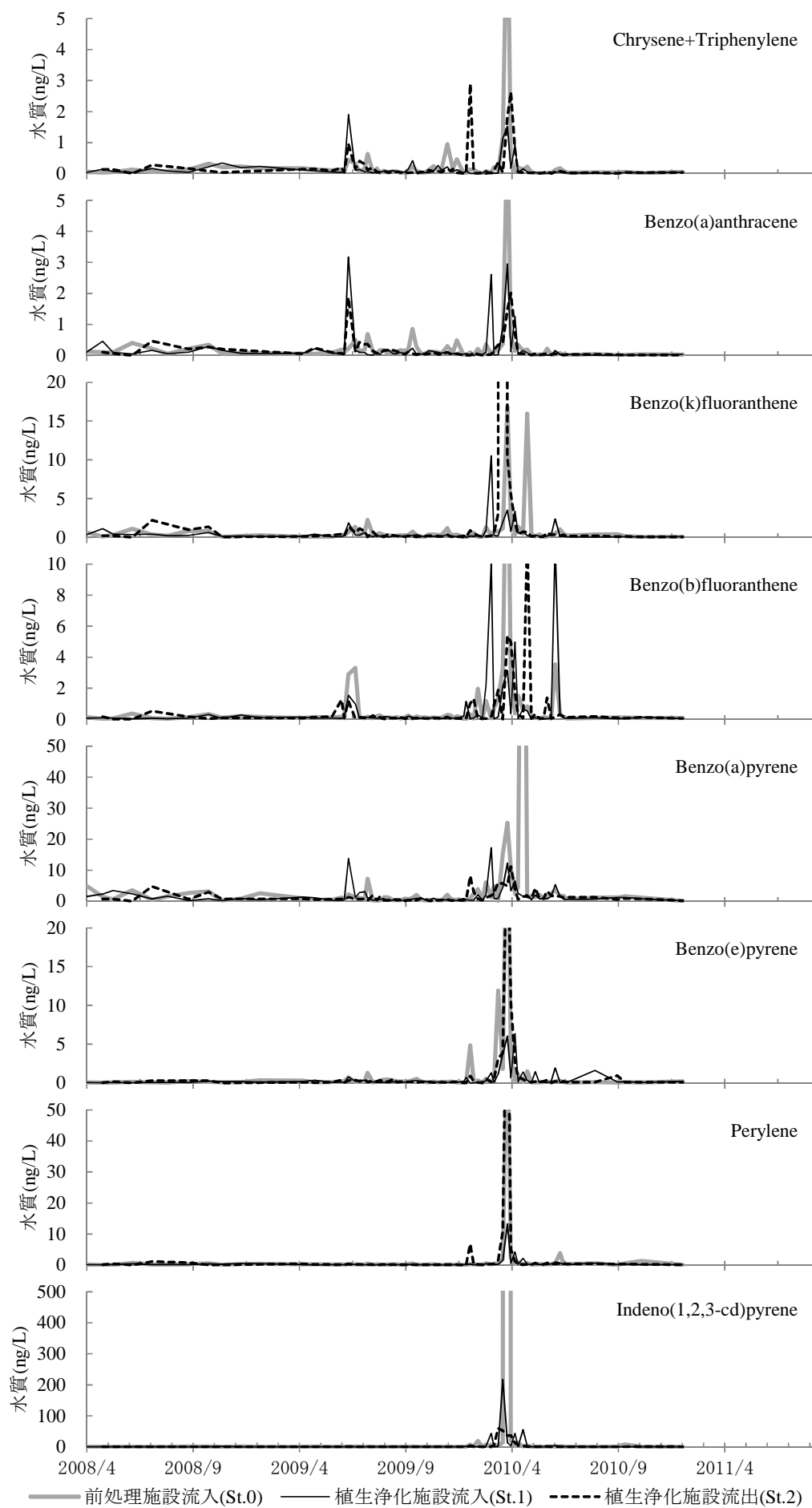


図 3-3-2 平水時調査結果



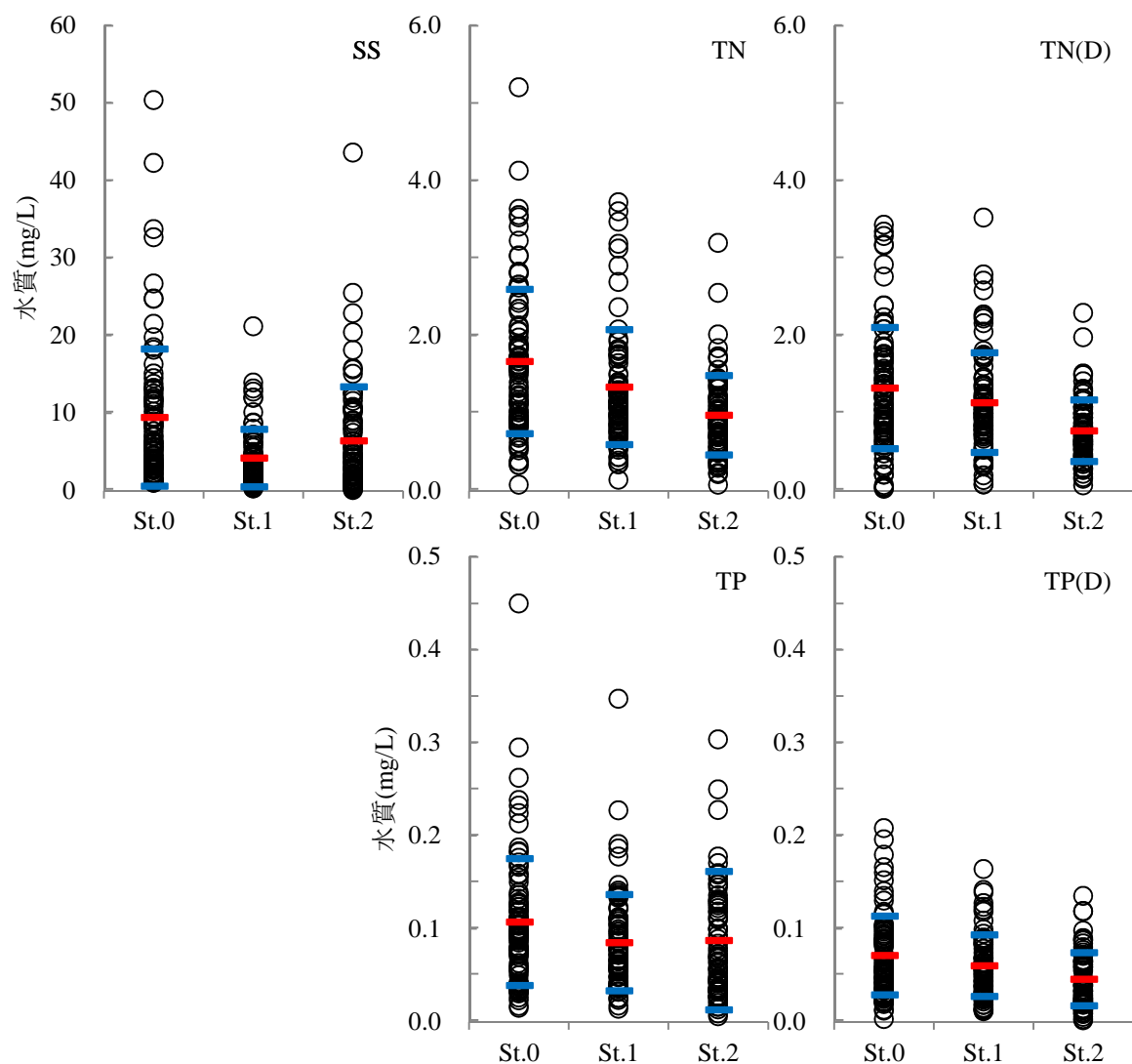


図 3-4-1 平水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値  $\pm$   $\sigma$ )

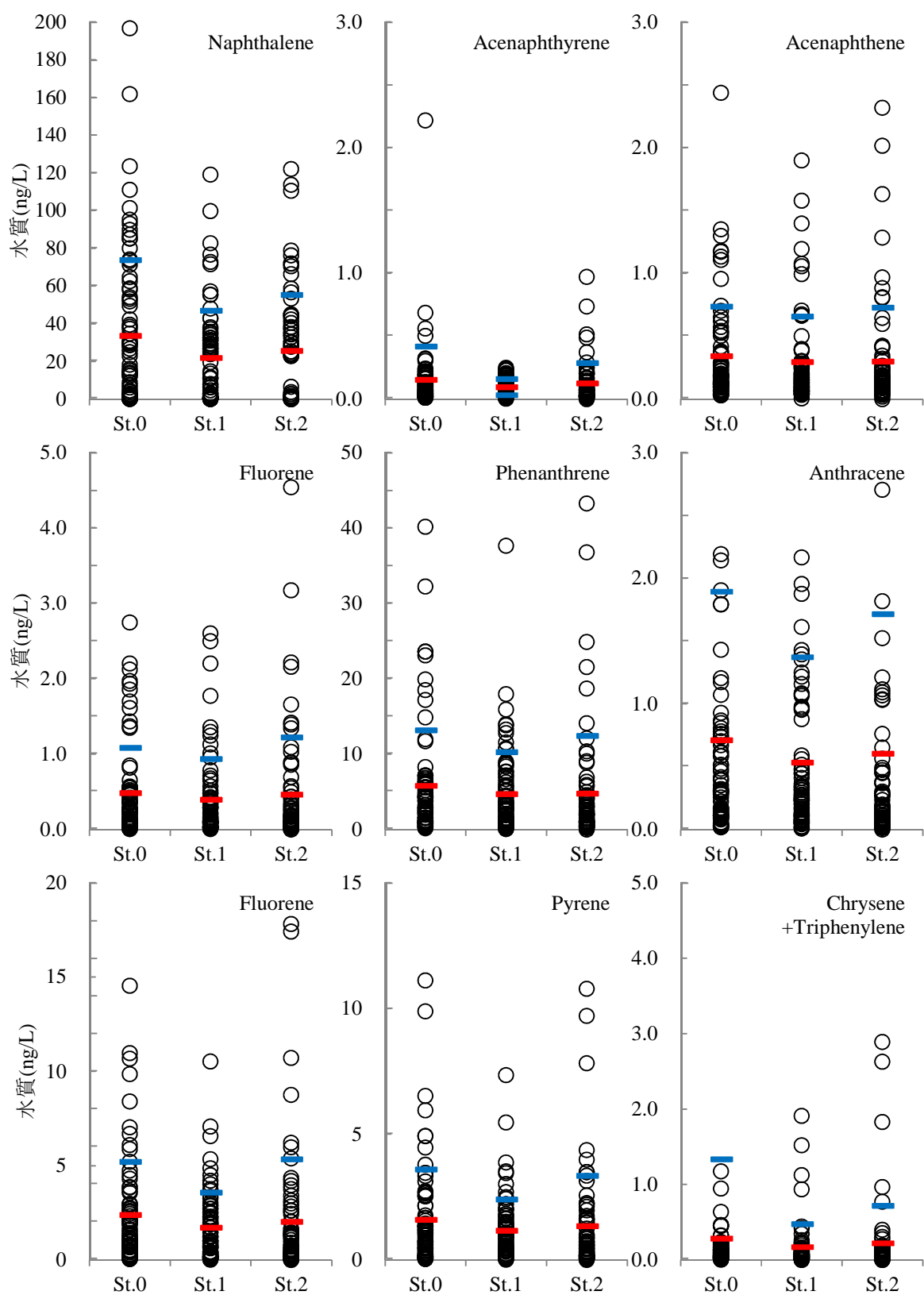


図 3-4-2 平水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値 $\pm \sigma$ )

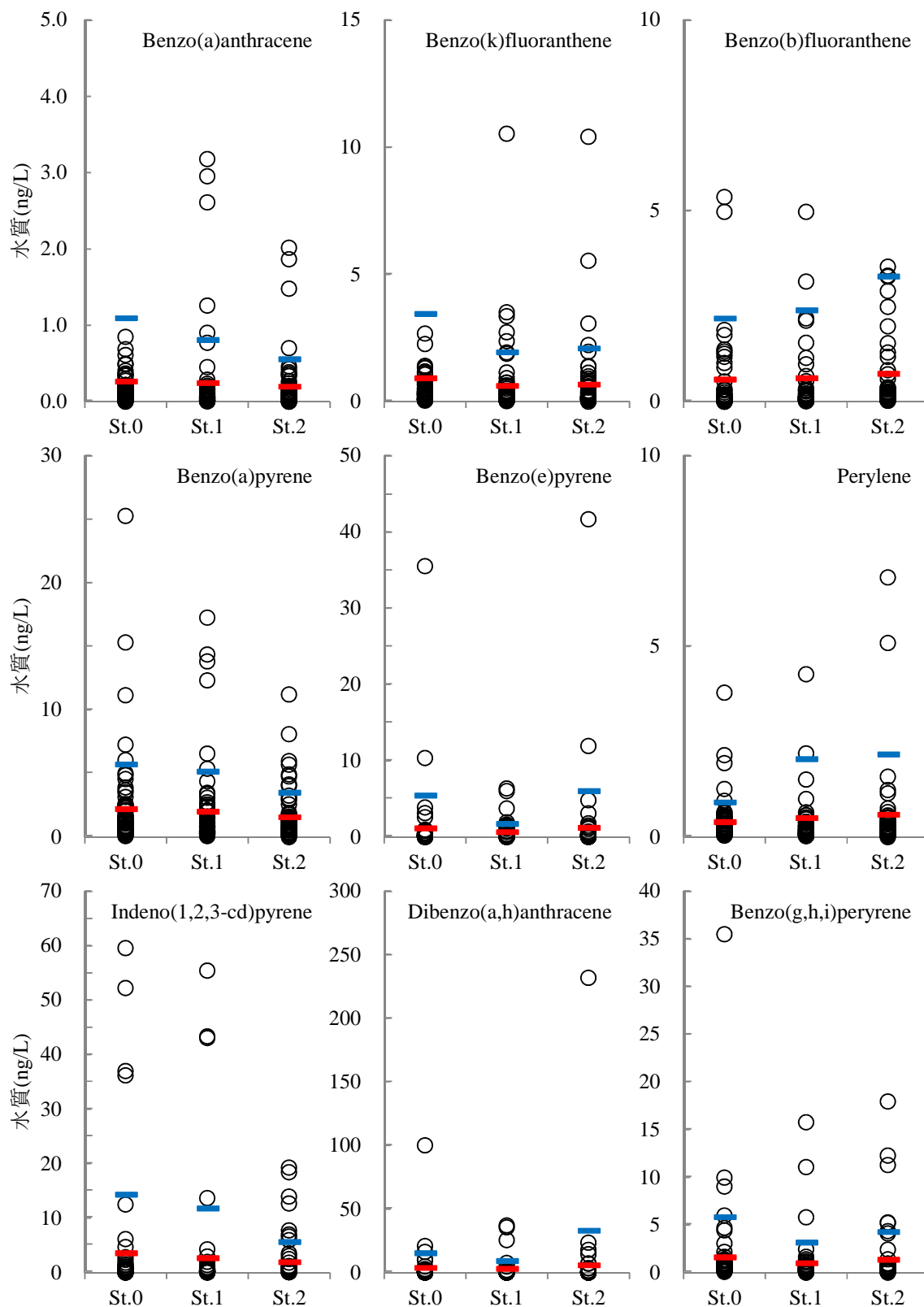


図 3-4-3 平水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値±σ)

### 3.4.2 出水時調査

M 川にて計測された濁度と、施設内にて観測された降雨量を図 3-5 に、一時貯留池内 (St.B) にて観測された水位を図 3-6 に示す。一部の水位計のデータは水位計の故障などにより、データ欠測となっている。また、一時貯留池の稼働状況を判別したものを表 3-5 に示す。ここでは、一時貯留池水位が 0.4m より上昇した場合に稼働が開始していると判断して流入開始とした。一時貯留池の流入停止の条件は、①一時貯留池が満水となること、②M 川の濁度が条件より下がること、③M 川と一時貯留池の水位レベルが同じになることの 3 つであるから、濁度と一時貯留池内水位からそれを判断した。排出開始は、流入停止後に水位が減り始めた時刻とし、水位の減少がなくなりかつ水位が 0.5m 未満となった場合を排出停止とした。

出水時の調査結果を図 3-6 に示す。調査結果の一例として、2009 年 11 月 14～16 日稼働の出水時調査の結果は、総降雨量 16.0mm の降雨に対する一時貯留池内の水量と流入・流出水質の経時変化が示されている。降雨が早期に止んだことで、SS や TP, PP といった懸濁態依存の強い成分では、流入開始後 3～5 時間で流入部の水質が低下し、流出部の水質と同じレベルにまで下がっている。PN についても同様の傾向がみられるものの、TN では流入・流出水質に差がないことから、TN の大部分を占める溶存態については除去機能が期待しにくいことがわかる。PAHs については、いずれも前述した他の懸濁態物質の挙動とよく似た傾向を示すものの、水質レベルは安定しない。後段の植生浄化施設においては 2-3ringsPAHs と 4ringsPAHs を除くと、おおむねどの水質項目においても、St.1 と St.2 でよく似た変動をしており、ほぼ水質レベルが変わっていないことがみと取れる。また、一時貯留池からの排水水質と比較してみると、PAHs 以外の水質項目では差がなく、一時貯留池からの排水が植生浄化施設を経て、そのまま琵琶湖へ流出していることがわかる。PAHs は、一時貯留池と植生浄化施設の間で水質レベルの差が認められる場合があったが、原因は今のところ定かではない。本来、植生浄化施設では所定の滞留時間で、植生との接触時間を長くとることによって、植生への吸収や根茎周辺での分解等で汚濁物の除去が図られるため、出水時のように流量が多く滞留時間が平均 3 時間程度と短い場合には、その除去機能は充分発揮されていないと推察される。

降雨時流出にはファーストフラッシュにみられるような高濃度の汚濁物流出が生じるため、この流出ピークの低減効果を検討した。各出水時調査における一時貯留池での流入のピーク水質と流出水質の関係を図 3-7 に示す。ピーク流入水質の高低に関わらず、一時貯留池においてある程度の幅に収まる値 (図 3-7 の網掛け部) まで水質を低下させ、流出させていることが分かる。ピーク流入水質に対する平均流出水質の割合は、ピーク流入水質が高かった稼働では 0.89%～19% となり、ピーク流入水質が低かった稼働では 26%～68% となった。このことから、高い濃度の流入がある方がより効率的な水質ピークの低減効果が期待できる。しかしながら、SS など他の懸濁態物質に比べると、PAHs におけるピーク流入水質をならす効果は小さく、こうした物質が依存する粒子の粒径や物性が影響しているものと思われる。表 3-6 では、出水時調査における一時貯留池での積算流入負荷量と積算流出負荷量の差から除去率を算定している。ここでは、貯留水の排出後も平均で 12.4% の水量が一時貯留池内に残っていること、および、一時貯留池における沈殿物の一部が、次の出水で巻き上がって流出し得ることから各出水におけるみかけの除去量としている。ほとんどの稼働の SS が高い割合で除去されていることがみと取れる。さらに、SS に付着して流出しやすいとされている TP や 5-6ringsPAHs でも大部分が沈殿除去されていた。これは流入初期の高濃度で水量の多い部分をかなりの的確に一時貯留池へ取り込めていたためと考える。図 3-8 に一時貯留池にお

ける積算流入負荷量と積算流出負荷量の関係を示すどの水質項目も、おおむね積算流出負荷量としては一定の値に低減させて排出していた。しかし、TN や TP、2-3ringsPAHs では、積算流入負荷量が大きい場合に、負荷量があまり低減せずに流出してしまっている。いくつかの水質項目によっては、大きな降雨では汚濁物を充分除去しきれない可能性があることが考えられる。図 3-9 に出水時の各調査地点における水質のばらつきを示す。図中の点は稼働における流量加重平均水質を示している。St.A から St.B にかけて、SS でみると、水質のばらつき以上に平均値が下がっており、水質低下の効果が認められる。TN や TP、PAHs では、St.A から St.B にかけて SS ほどではないものの水質の低下がみられた。特に 5-6ringsPAHs では顕著に水質を低下させていたが、水質のばらつきが SS などに比べて大きかった。一方で、St.1 から St.2 にかけては、すべての水質項目で統計的に有意な水質の変化は認められない。

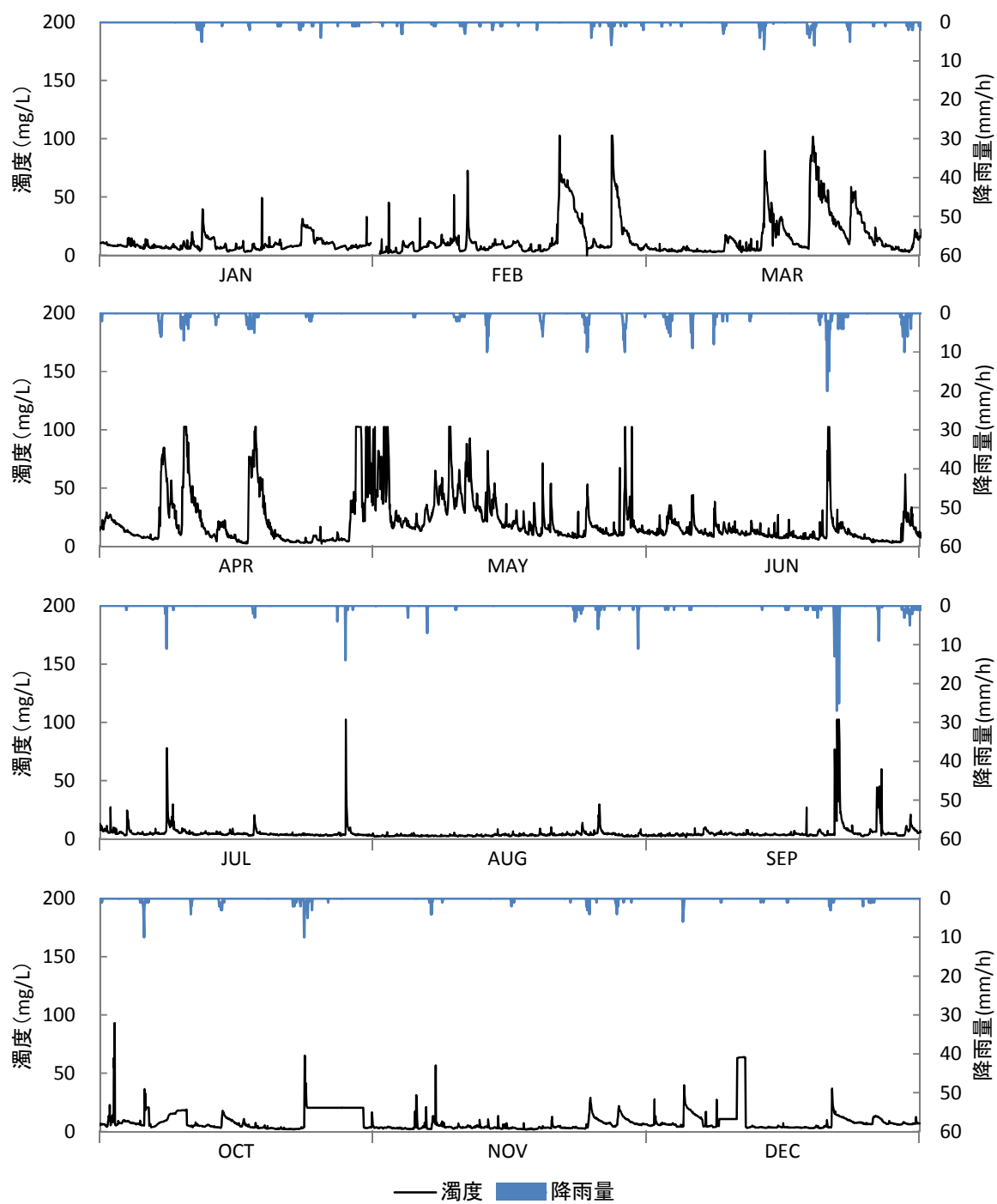


図 3-5-1 M 川濁度と降雨量 (2008 年)

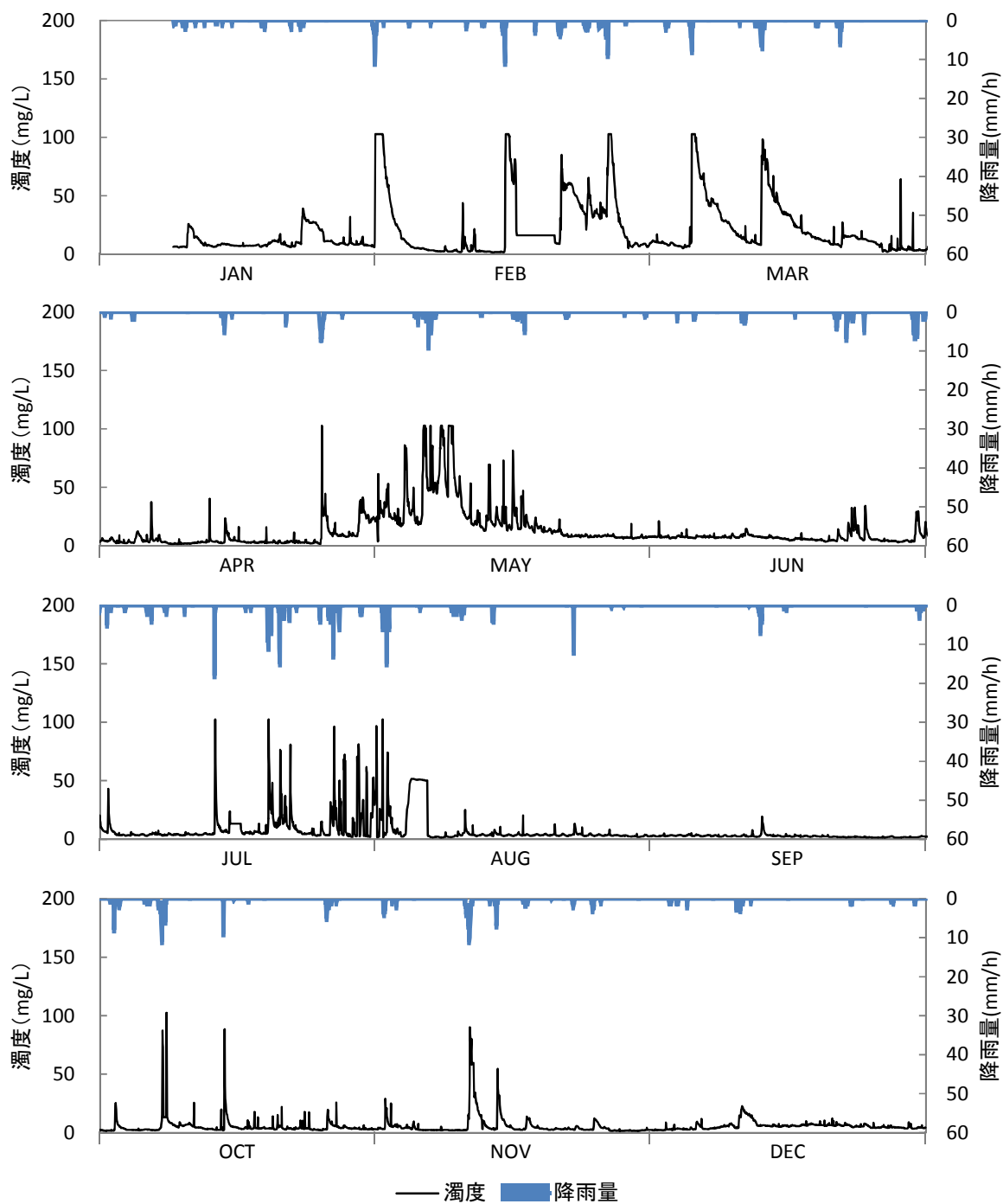


図 3-5-2 M 川濁度と降雨量 (2009 年)

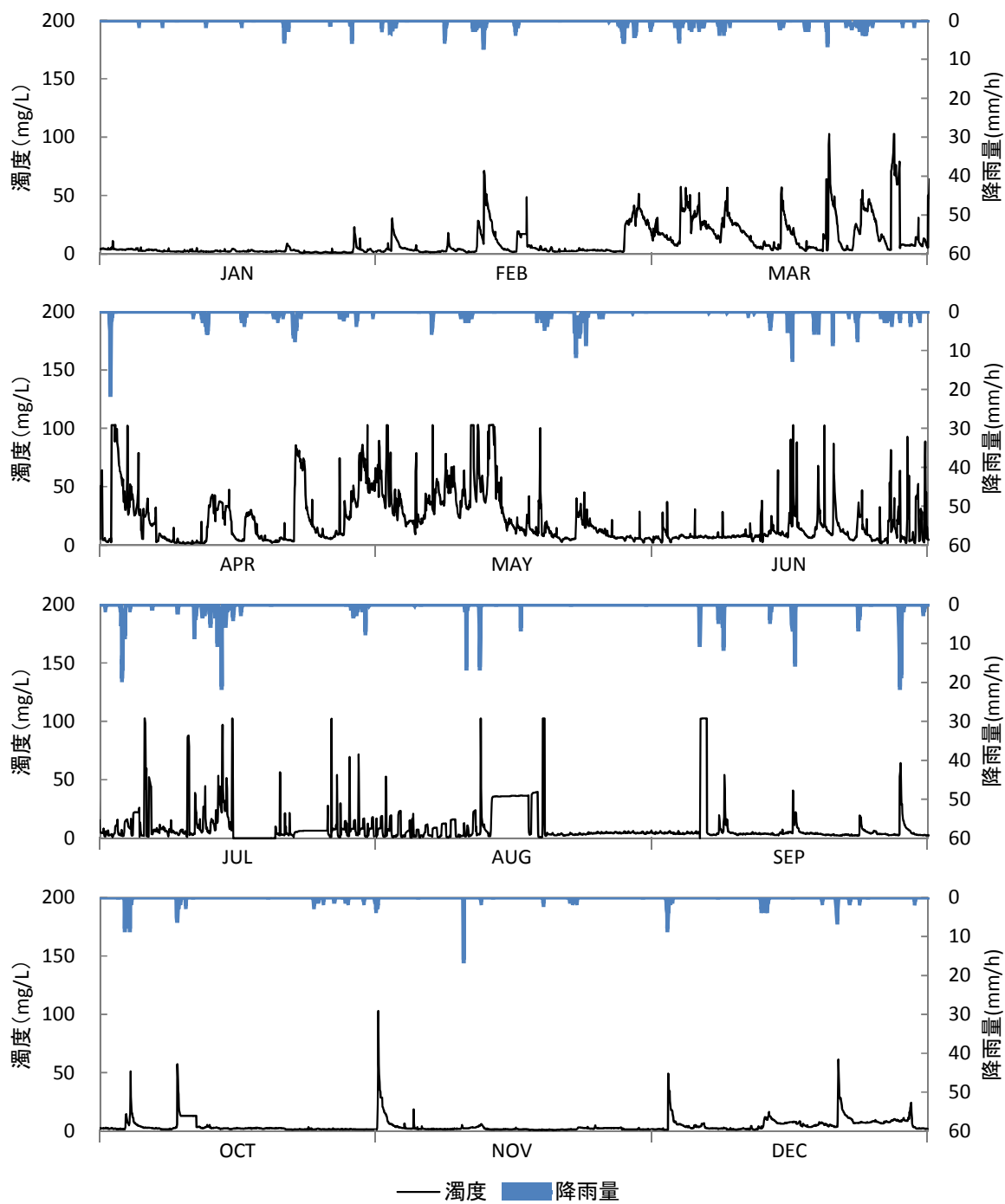


図 3-5-3 M 川濁度と降雨量 (2010 年)



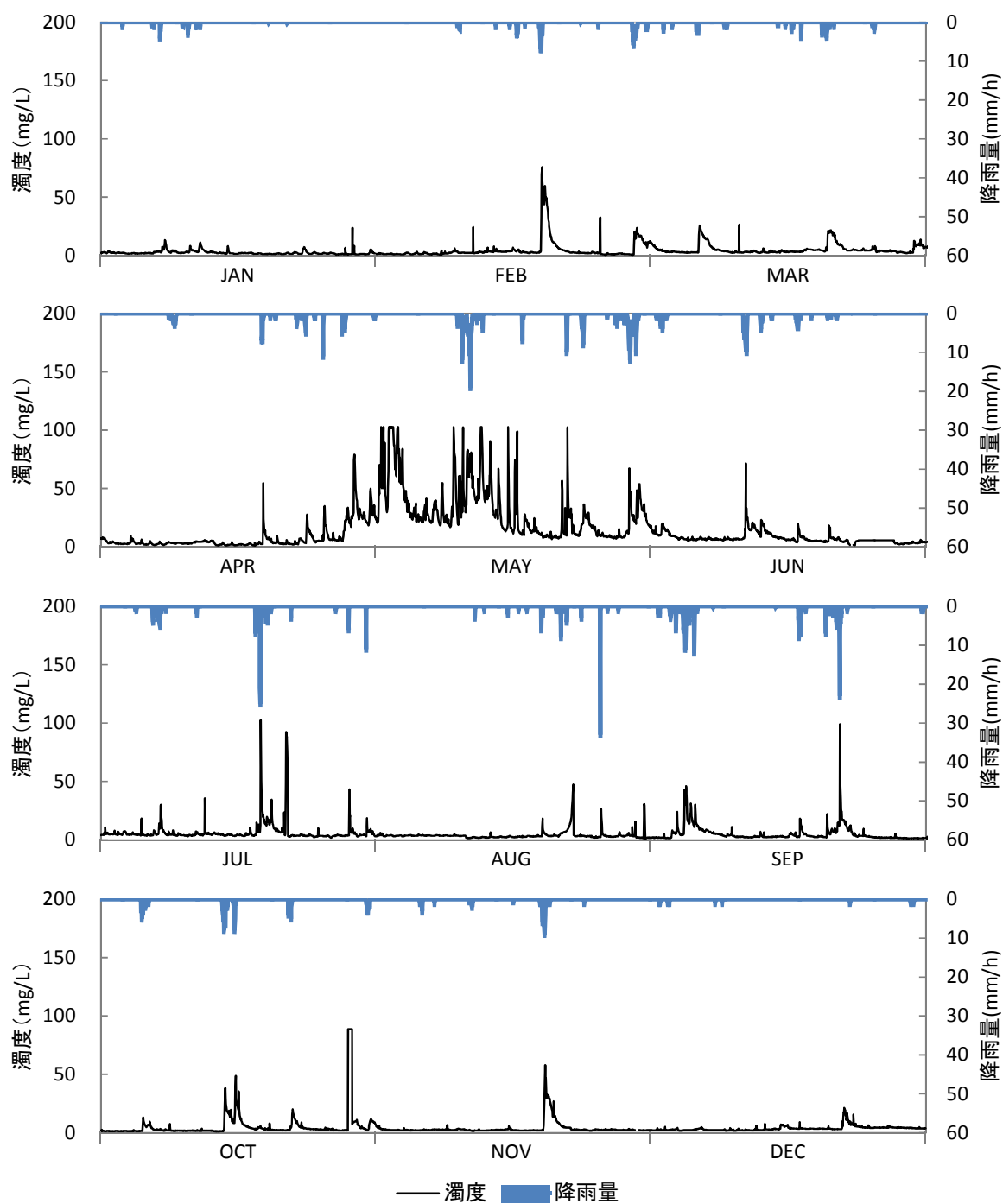


図 3-5-4 M 川濁度と降雨量 (2011 年)

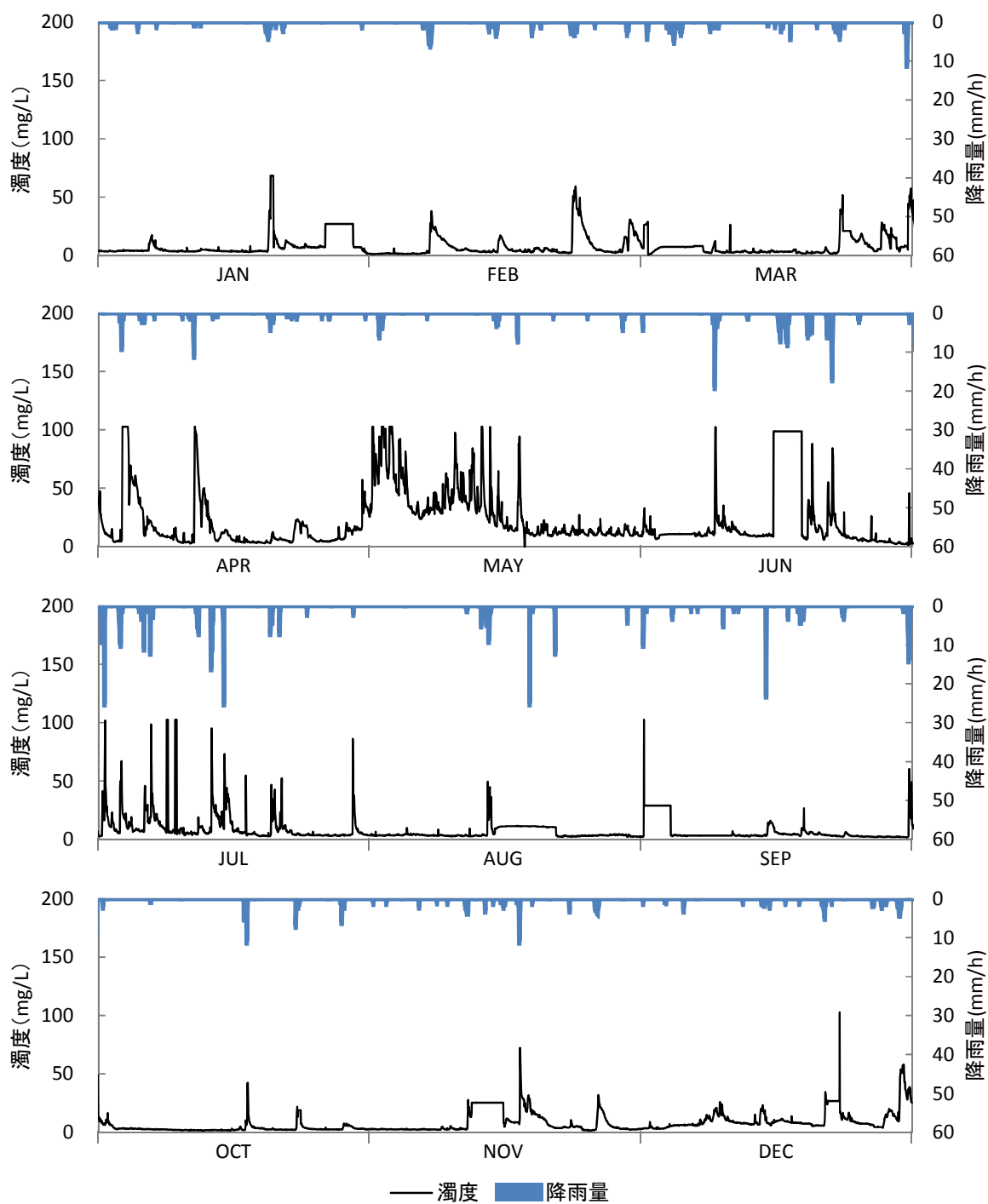


図 3-5-5 M 川濁度と降雨量 (2012 年)

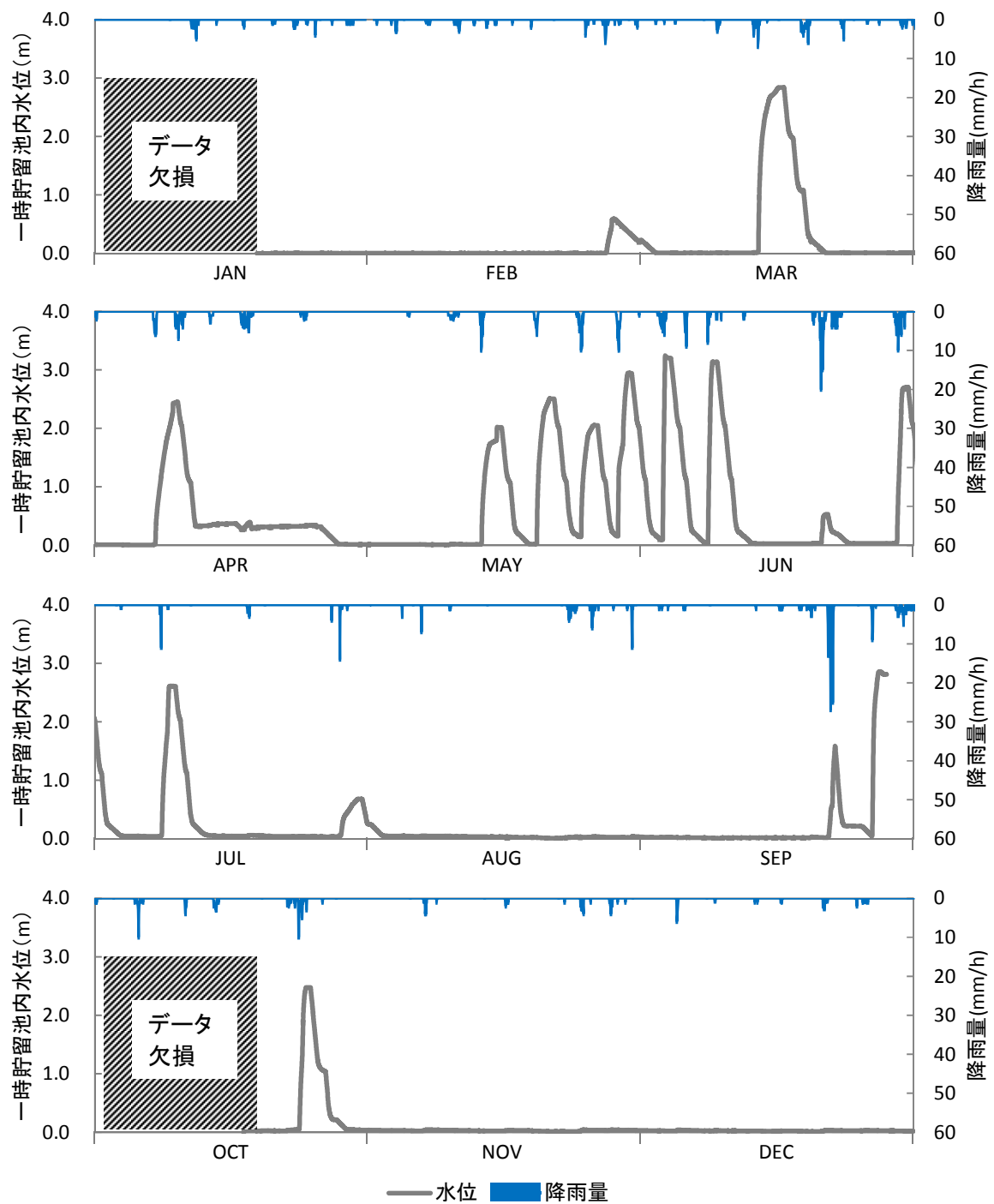


図 3-6-1 一時貯留池水位 (2008 年)

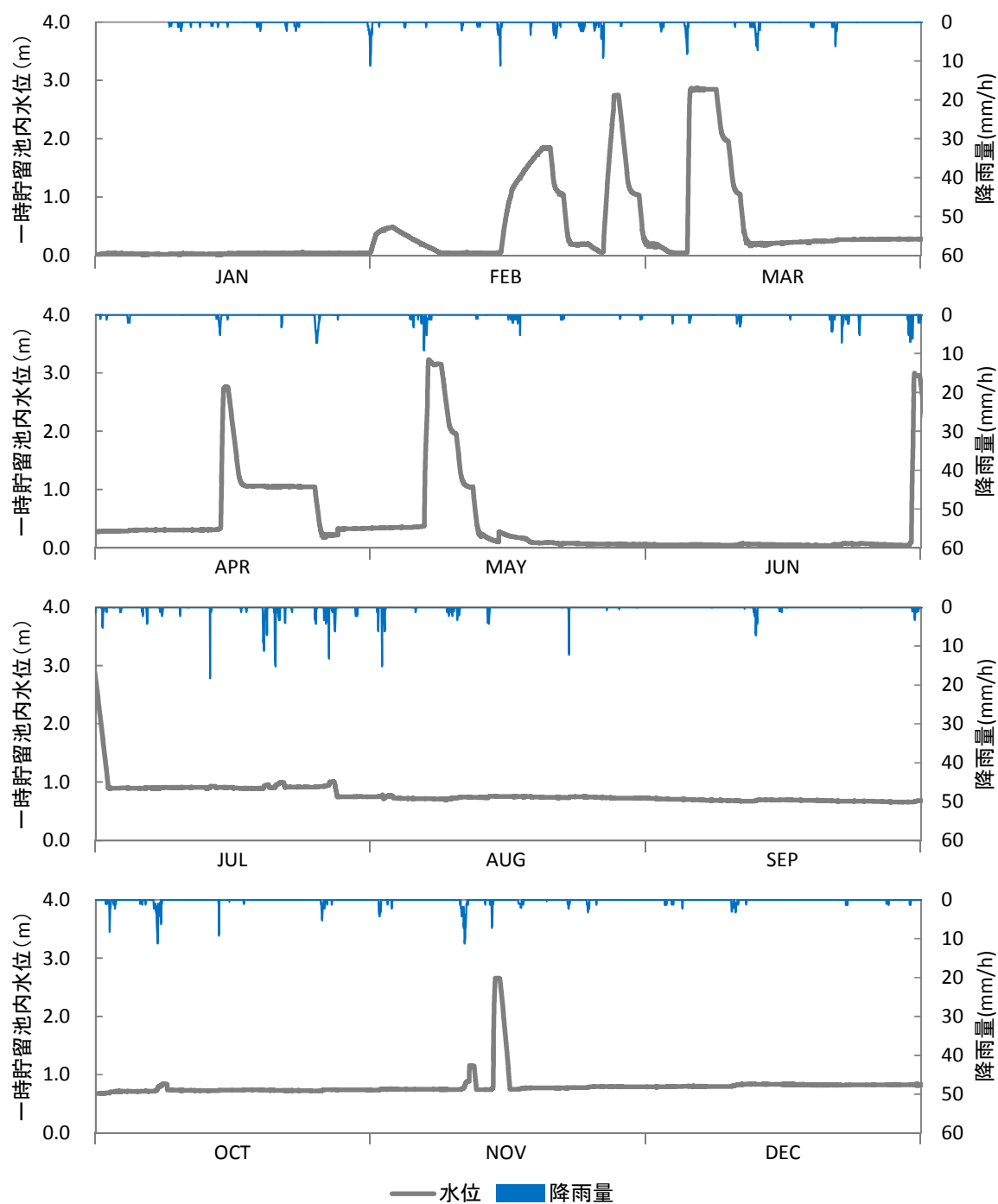


図 3-6-2 一時貯留池水位 (2009 年)

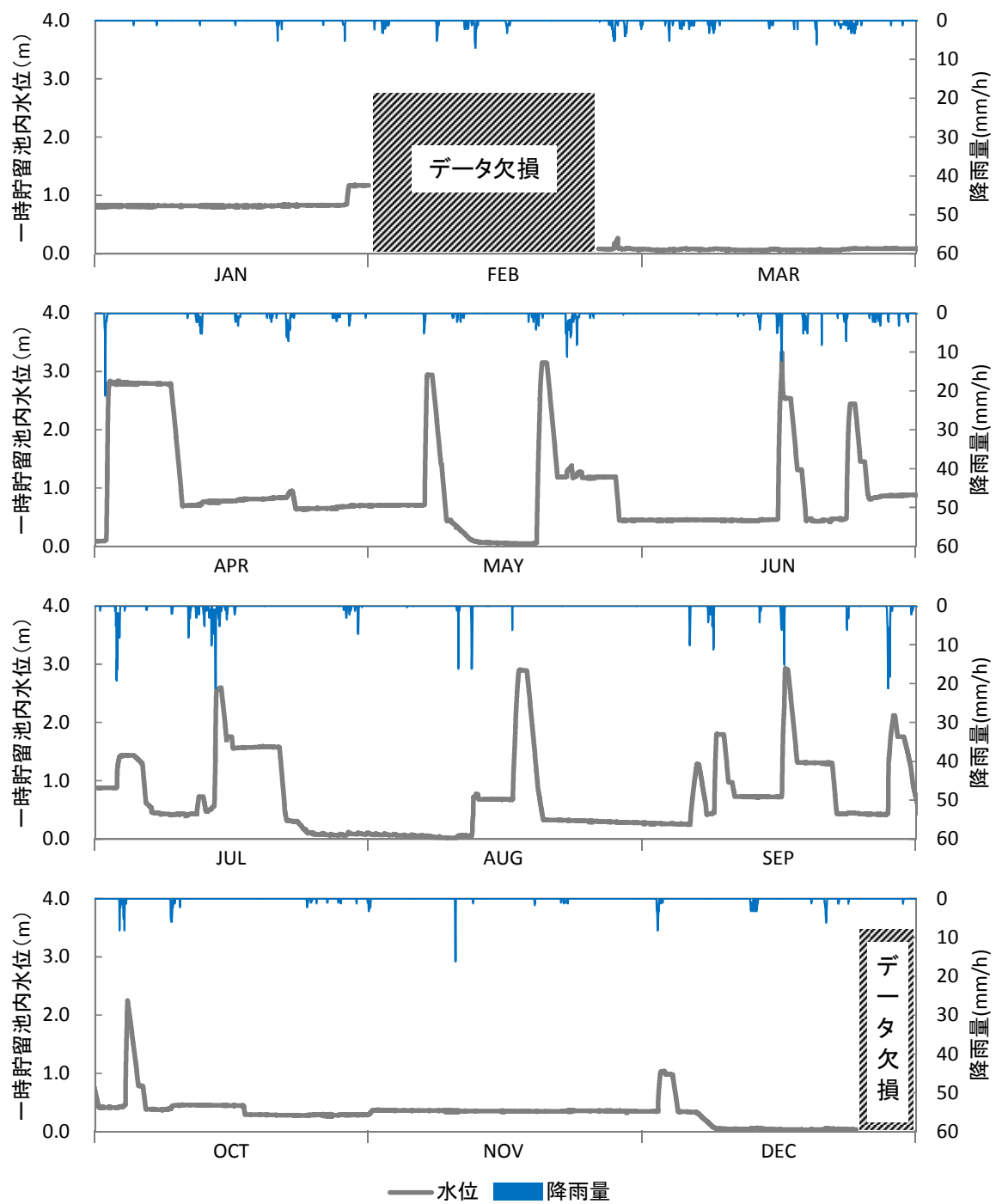


図 3-6-3 一時貯留池水位 (2010 年)

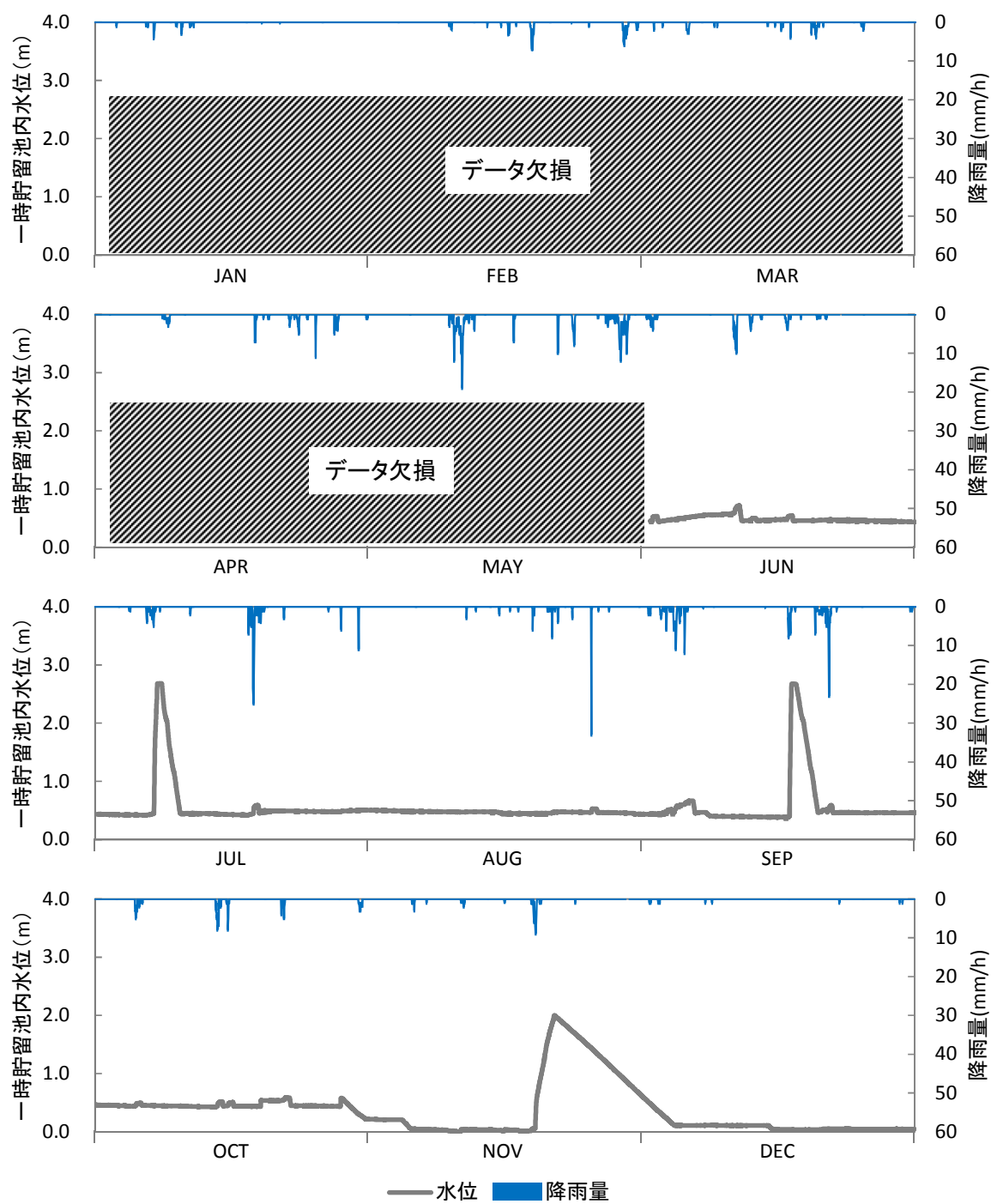


図 3-6-4 一時貯留池水位 (2011 年)

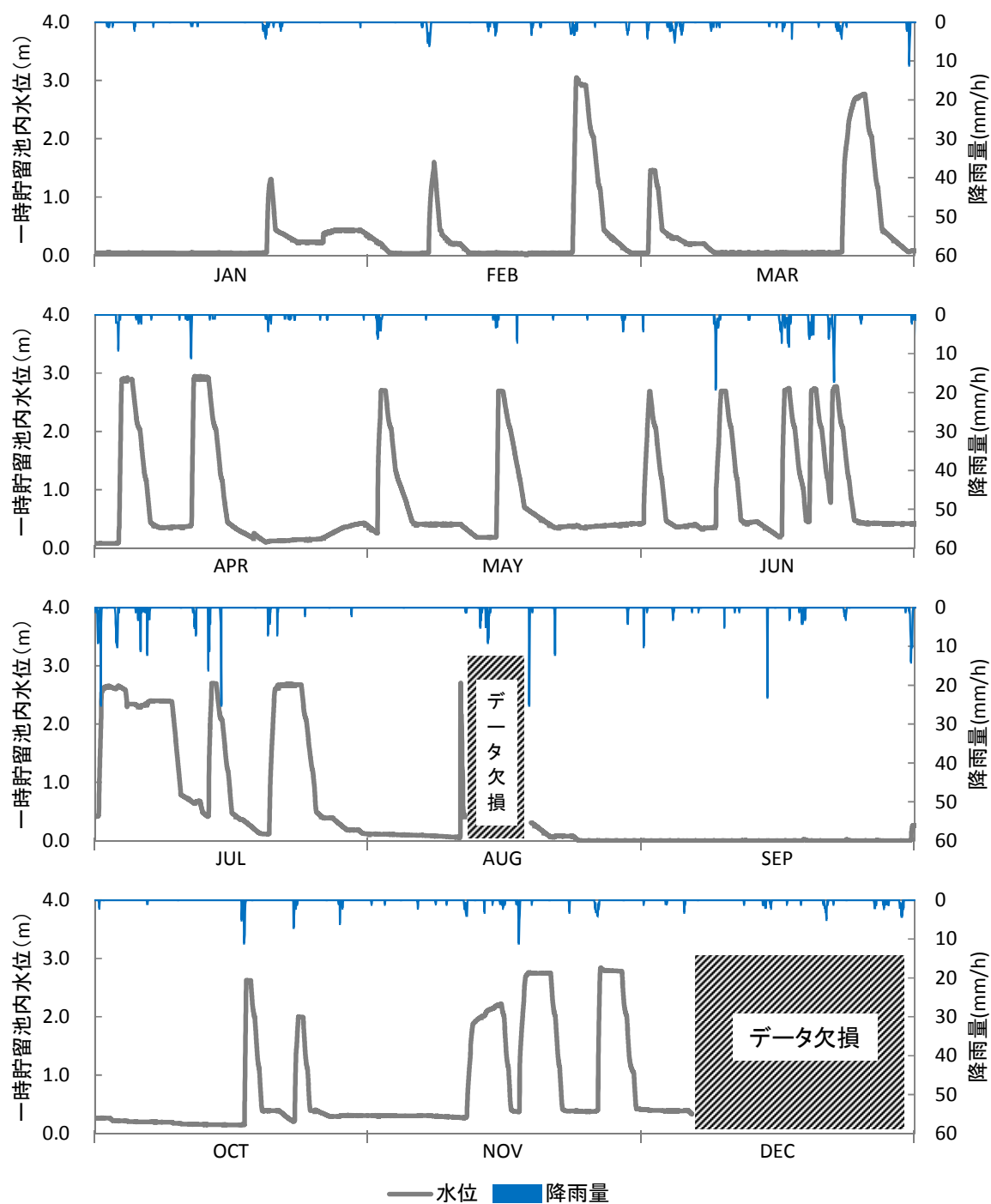


図 3-6-6 一時貯留池水位 (2012 年)

表 3-5-1 一時貯留池稼働状況 (2008 年～2010 年)

年	月 日	調査	降雨情報				時刻				一時貯留池状況				備考
			総降雨量 mm	最大降雨 強度 mm/10min	降雨 期間 ×10min	先行 晴天期間 ×10min	流入開始	流入停止	排出開始	排出停止	流入開始 直前水位 m	最高 水位 m	排出停止 直後水位 m	流入 停止要因	
2008	2/26		20.0	2.0	32	24	2/26 21:00	2/27 11:10	2/27 18:00	3/03 09:10	0.01	0.59	0.01	不明・その他	
	3/14		17.0	2.0	40	14	3/14 17:40	3/17 05:30	3/17 14:40	3/20 04:10	0.02	2.84	0.41	一時貯留池満水	
	4/07		35.0	2.0	53	905	4/07 17:10	4/09 16:50	4/10 05:00	4/12 01:10	0.02	2.44	0.45	不明・その他	
	5/13		37.0	4.0	61	346	5/13 23:55	5/15 16:45	5/16 05:05	5/17 12:55	0.03	2.02	0.44	川水位	
	5/20	○	31.0	2.0	61	807	5/20 02:55	5/21 13:25	5/22 01:35	5/23 17:05	0.03	2.51	0.54	濁度低下	
	5/25	○	54.0	3.0	83	13	5/25 01:25	5/26 09:35	5/26 21:55	5/28 05:25	0.16	2.05	0.40	濁度低下	
	5/29		50.0	3.0	69	527	5/29 03:55	5/30 05:55	5/30 16:25	6/01 14:20	0.16	2.95	0.44	一時貯留池満水	
	6/03		26.0	2.0	58	295	6/03 03:20	6/03 11:30	6/04 01:00	6/06 03:30	0.10	3.25	0.44	一時貯留池満水	
	6/08		17.0	5.0	19	327	6/08 04:00	6/08 15:50	6/09 04:30	6/11 04:30	0.04	3.14	0.44	一時貯留池満水	
	6/20		87.0	9.0	76	65	6/20 14:25	6/21 02:45	6/21 11:35	6/23 19:55	0.04	0.53	0.04	川水位	
	6/29	○	48.0	4.0	72	13	6/29 04:25	6/29 19:35	6/30 10:15	7/02 04:05	0.05	2.70	0.44	川水位	
	7/08	○	13.0	8.0	5	14	7/08 12:55	7/09 08:15	7/10 01:55	7/11 17:25	0.06	2.61	0.46	川水位	
2009	7/28		17.0	12.0	9	131	7/28 16:05	7/30 18:15	7/31 01:25	8/02 08:15	0.06	0.68	0.06	不明・その他	
	9/21		-	-	-	-	9/21 12:10	9/22 04:40	9/22 04:50	9/22 00:00	0.05	1.59	0.45	不明・その他	
	9/26	○	18.0	4.0	22	619	9/26 09:00	9/27 02:50	-	-	0.05	2.86	-	一時貯留池満水	水位計電池切れのため
	10/06	○	29.0	2.0	75	16	-	-	-	-	-	-	-	不明・その他	水位計電池切れのため
	10/23	○	23.0	3.0	44	48	10/23 23:50	10/24 18:30	10/25 05:40	10/27 06:20	0.05	2.47	0.45	川水位	
	1/31		46.0	2.0	67	1083	1/31 00:46	2/01 22:06	2/02 10:26	2/07 00:00	0.06	0.48	0.04	不明・その他	
	2/14		31.0	4.0	45	279	2/14 05:06	2/18 20:56	2/19 13:46	2/21 09:06	0.05	1.84	0.42	川水位	
	2/25		23.0	3.0	39	38	2/25 09:26	2/26 12:16	2/27 00:26	3/01 14:46	0.07	2.74	0.43	川水位	
	3/06		30.0	2.0	56	334	3/06 12:36	3/08 08:56	3/09 15:56	3/12 15:26	0.06	2.86	0.43	一時貯留池満水	
	4/14		20.0	2.0	44	13	4/14 18:56	4/15 03:36	4/15 14:36	4/25 16:06	0.34	2.76	0.41	一時貯留池満水	
	5/07		32.0	5.0	94	20	5/07 06:06	5/07 16:56	5/09 02:16	5/13 00:26	0.39	3.23	0.41	一時貯留池満水	
	6/29	○	40.0	3.0	67	17	6/29 22:16	6/30 09:06	6/30 20:26	7/02 10:26	0.10	3.00	0.90	一時貯留池満水	
2010	11/11		-	-	-	-	11/11 15:15	11/11 16:15	11/12 04:35	11/12 10:35	0.89	1.15	0.74	不明・その他	
	11/14	○	17.0	2.0	25	20	11/14 06:55	11/14 13:15	11/15 01:05	11/16 04:35	0.77	2.66	0.75	川水位	
	1/28		-	-	-	-	1/28 14:26	1/28 20:46	-	-	0.85	1.17	-	不明・その他	水位計電池切れのため
	4/02		39.0	7.0	43	361	4/02 05:56	4/05 18:36	4/09 09:56	4/10 16:46	0.11	2.80	0.70	一時貯留池満水	
	4/21		-	-	-	-	4/21 05:56	4/22 20:46	4/22 20:56	4/23 06:46	0.83	0.95	0.64	不明・その他	
	5/07	○	14.0	1.0	27	923	5/07 12:56	5/07 19:16	5/08 09:06	5/09 22:56	0.72	2.94	0.45	一時貯留池満水	
	5/19	○	10.0	1.0	32	23	5/19 22:56	5/20 13:26	5/21 01:46	5/29 02:56	0.07	3.15	0.45	一時貯留池満水	
	6/15	○	21.0	2.0	53	255	6/15 16:46	6/16 11:16	6/17 02:26	6/18 19:56	0.48	3.32	0.44	一時貯留池満水	
	6/23	○	14.0	3.0	23	12	6/23 07:06	6/23 17:06	6/24 05:36	6/25 17:56	0.49	2.44	0.83	川水位	
	7/03		77.0	8.0	79	243	7/03 09:56	7/03 19:46	7/05 08:26	7/07 08:46	0.89	1.43	0.46	川水位	
	7/14		69.0	9.0	118	15	7/14 08:56	7/14 15:16	7/15 03:36	7/22 11:36	0.57	2.57	0.32	川水位	
	8/12		30.0	4.0	23	188	8/12 06:46	8/12 09:46	8/12 21:46	8/12 23:26	0.10	0.72	0.68	不明・その他	
2011	8/16		6.0	4.0	2	639	8/16 19:36	8/17 17:16	8/18 09:26	8/20 05:16	0.69	2.90	0.33	一時貯留池満水	
	9/05		19.0	5.0	13	2861	9/05 15:56	9/06 10:16	9/06 15:56	9/07 17:46	0.27	1.29	0.44	濁度低下	
	9/08		27.0	5.0	23	27	9/08 09:16	9/08 15:16	9/09 11:06	9/10 16:06	0.47	1.80	0.73	不明・その他	
	9/15		39.0	5.0	63	319	9/15 23:26	9/16 08:06	9/16 15:16	9/22 02:46	0.74	2.93	0.43	一時貯留池満水	
	9/27		92.0	9.0	53	616	9/27 20:26	9/28 10:26	9/28 15:16	10/01 09:46	0.45	2.12	0.42	川水位	
	10/04		20.0	3.0	24	13	10/04 09:36	10/04 15:36	10/04 15:46	10/06 16:26	0.46	2.25	0.39	川水位	
	12/03		25.0	3.0	35	1437	12/03 02:36	12/03 08:46	12/04 17:16	12/05 07:56	0.37	1.04	0.35	不明・その他	



表 3-5-2 一時貯留池稼動状況 (2011 年～2012 年)

年	月	日	調査	降雨情報				時刻				一時貯留池状況				備考
				総降雨量 mm	最大降雨 強度 mm/10min	降雨 期間 ×10min	先行 晴天期間 ×10min	流入開始	流入停止	排出開始	排出停止	流入開始 直前水位 m	最高 水位 m	排出停止 直後水位 m	流入 停止要因	
2011	7/07	○	26.0	1.0	76	12		7/07 15:00	7/08 00:00	7/08 12:20	7/10 13:20	0.45	2.68	0.45	川水位	
	9/16		37.0	4.0	55	361		9/16 23:00	9/17 04:30	9/17 16:40	9/20 03:20	0.41	2.67	0.46	川水位	
	11/19		47.0	2.0	63	13		11/19 10:40	11/21 13:40	11/21 13:50	12/05 00:50	0.06	2.00	0.11	川水位	
	1/20		23.0	1.0	65	1035		1/20 02:00	1/20 12:10	1/20 14:00	1/21 01:10	0.05	1.31	0.44	濁度低下	
	1/26		0.0	0.0	0	-		1/26 07:40	1/27 16:10	1/30 12:00	2/02 19:20	0.22	0.43	0.04	不明・その他	
	2/07		42.3	2.1	72	62		2/07 01:40	2/07 15:30	2/07 15:40	2/08 07:10	0.05	1.60	0.44	川水位	
	2/23		30.0	1.0	90	466		2/23 00:20	2/23 12:30	2/24 11:50	2/26 11:50	0.05	3.05	0.45	一時貯留池満水	
	3/02		12.0	2.0	25	286		3/02 09:40	3/02 15:50	3/03 04:20	3/03 23:00	0.05	1.45	0.44	川水位	
	3/23		23.0	2.0	63	20		3/23 22:20	3/25 18:10	3/26 11:30	3/28 08:20	0.06	2.77	0.47	一時貯留池満水	
	4/03		26.0	4.0	40	410		4/03 14:40	4/04 17:20	4/05 03:00	4/07 04:10	0.09	2.91	0.45	一時貯留池満水	
2012	4/11		25.0	3.0	39	19		4/11 17:40	4/11 23:50	4/13 14:30	4/15 17:20	0.41	2.94	0.44	一時貯留池満水	
	5/02		36.0	2.0	86	205		5/02 09:15	5/02 19:15	5/03 06:05	5/06 18:45	0.26	2.70	0.41	川水位	
	5/15		14.0	1.0	39	31		5/15 13:55	5/15 18:55	5/16 07:05	5/22 01:45	0.20	2.69	0.35	川水位	
	5/31		6.0	2.0	4	288		5/31 22:35	6/01 13:45	6/01 14:55	6/03 09:35	0.44	2.69	0.48	川水位	
	6/08		48.0	4.0	85	1126		6/08 22:35	6/09 00:00	6/10 01:05	6/11 18:35	0.39	2.69	0.47	川水位	
	6/16		28.0	2.0	57	475		6/16 06:15	6/16 13:05	6/17 01:15	6/18 22:45	0.22	2.74	0.47	川水位	
	6/19		30.0	2.0	49	281		6/19 07:55	6/19 12:45	6/20 01:05	6/21 15:55	0.46	2.73	0.78	川水位	
	6/21		79.0	4.0	108	232		6/21 16:35	6/21 21:35	6/22 08:25	6/24 07:45	0.78	2.77	0.48	一時貯留池満水	
	7/01		23.0	3.0	36	18		7/01 10:45	7/01 17:55	7/09 15:25	7/10 15:35	0.44	2.63	0.79	川水位	
	7/13		35.0	11.0	34	192		7/13 18:15	7/14 02:45	7/14 14:55	7/16 08:55	0.43	2.70	0.48	川水位	
	7/20	○	20.0	7.0	39	756		7/20 13:45	7/21 06:05	7/24 03:45	7/25 20:35	0.12	2.67	0.49	川水位	
	8/11		-	-	-	-		8/11 00:15	8/11 01:25	8/11 01:35	8/11 12:05	0.09	2.70	0.43	不明・その他	
	10/17		29.0	7.0	27	18		10/17 18:57	10/17 23:57	10/18 11:57	10/19 18:37	0.16	2.63	0.39	濁度低下	
	10/23		15.0	3.0	20	778		10/23 10:17	10/23 19:57	10/24 07:57	10/25 04:17	0.22	2.00	0.39	川水位	
	11/11		24.0	2.0	53	285		11/11 17:50	11/14 08:30	11/15 15:00	11/17 02:10	0.29	2.22	0.38	川水位	
	11/17		26.0	3.0	25	14		11/17 15:10	11/18 08:00	11/21 03:50	11/22 11:20	0.38	2.76	0.41	一時貯留池満水	
11/26	○	30.1	2.0	71	409		11/26 10:30	11/26 18:20	11/29 03:20	11/30 18:30	0.40	2.84	0.42	一時貯留池満水		

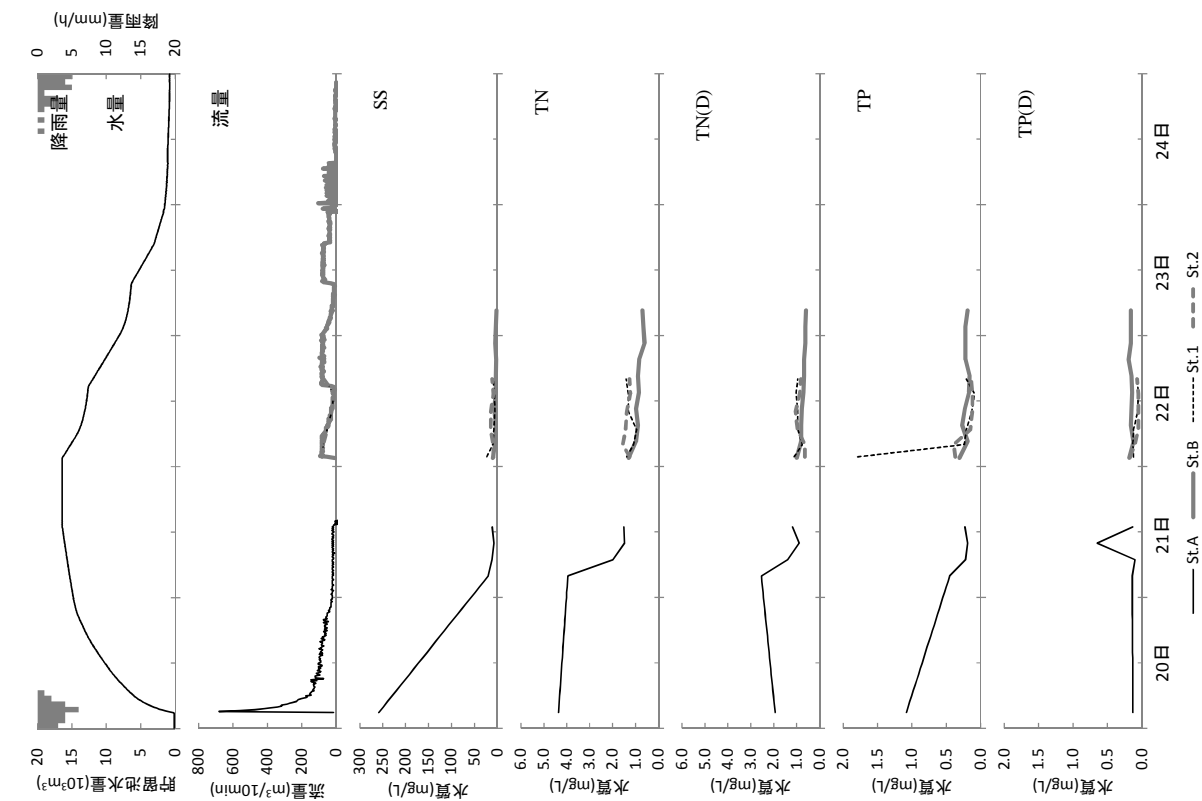


圖 3-6-1-1 出水時調查結果 (2008 年 5 月 20 日出水時)

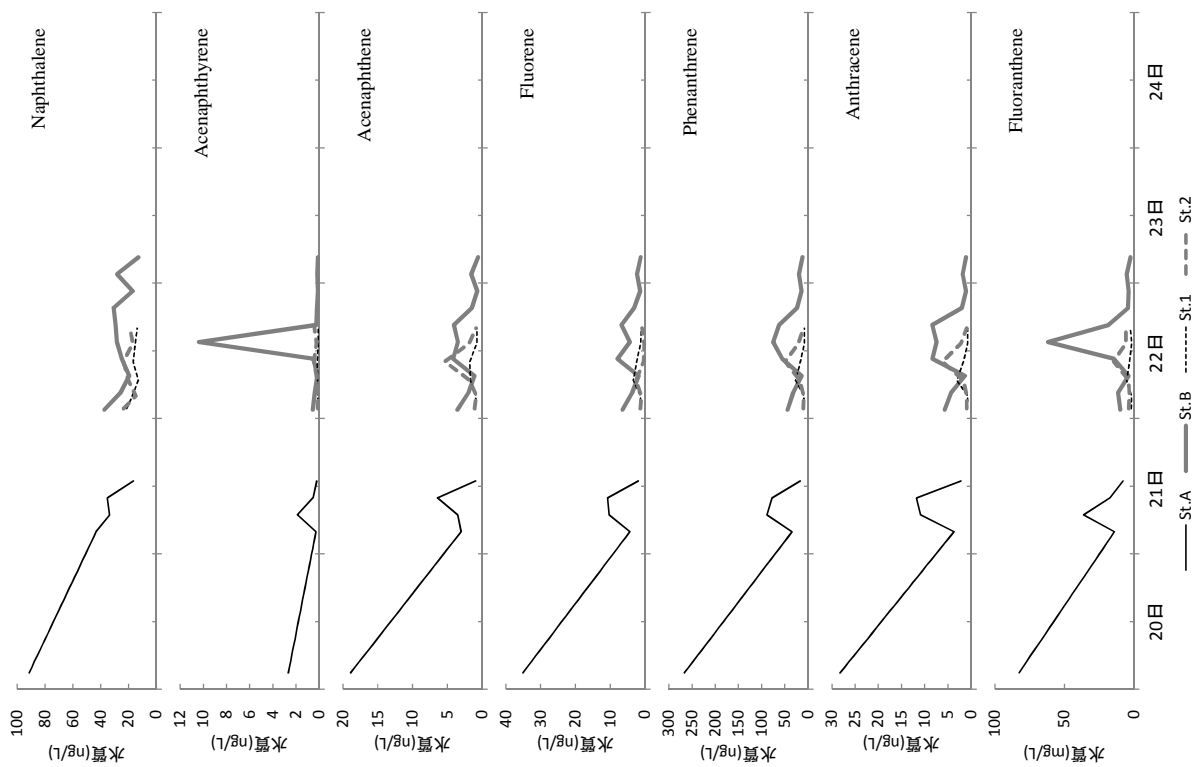


圖 3-6-1-2 出水時調查結果 (2008 年 5 月 20 日出水時)

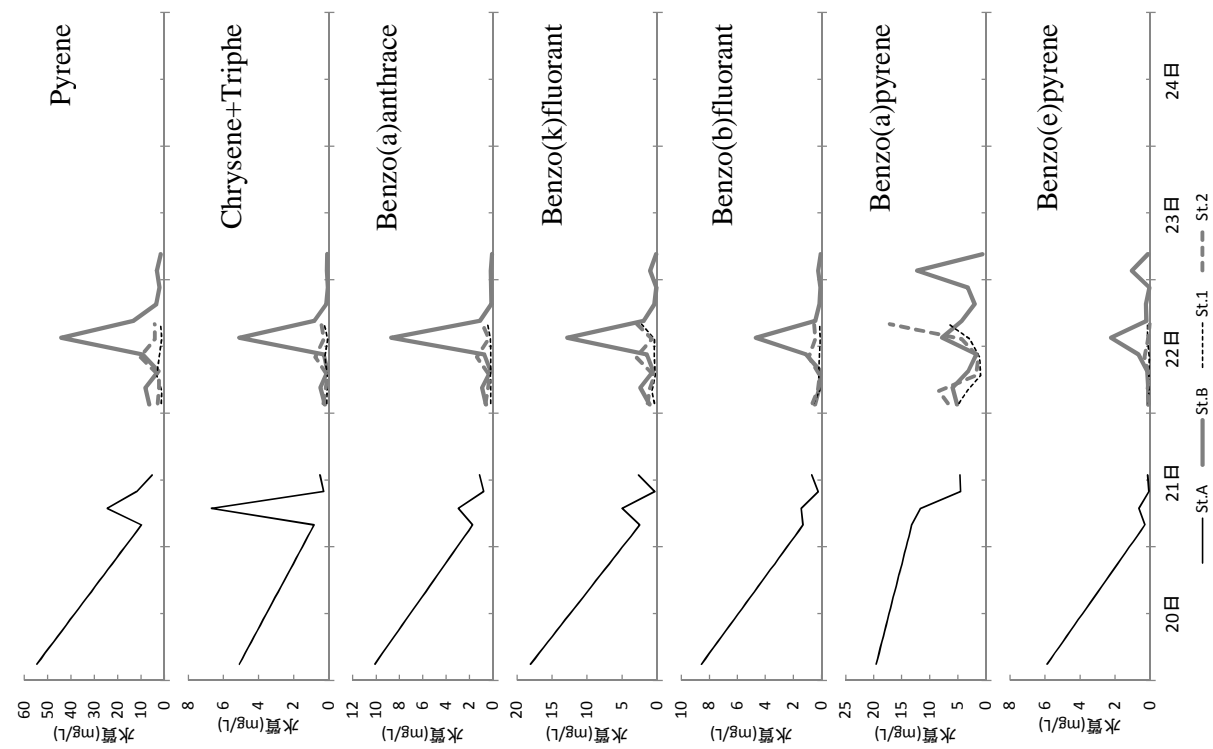


図 3-6-1-3 出水時調査結果 (2008 年 5 月 20 日出水時)

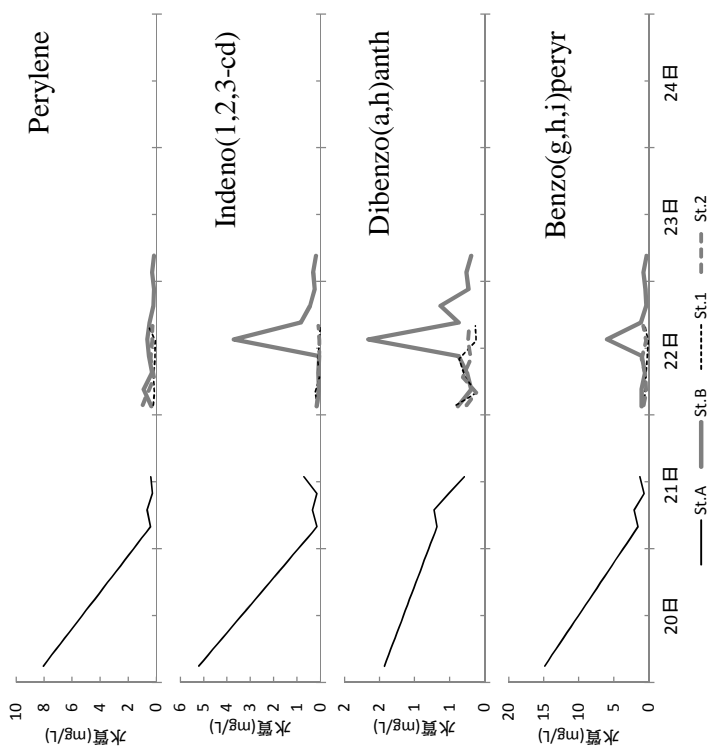


図 3-6-1-4 出水時調査結果 (2008 年 5 月 20 日出水時)



圖 3-6-2-1 出水時調查結果 (2008 年 5 月 25 日出水時)

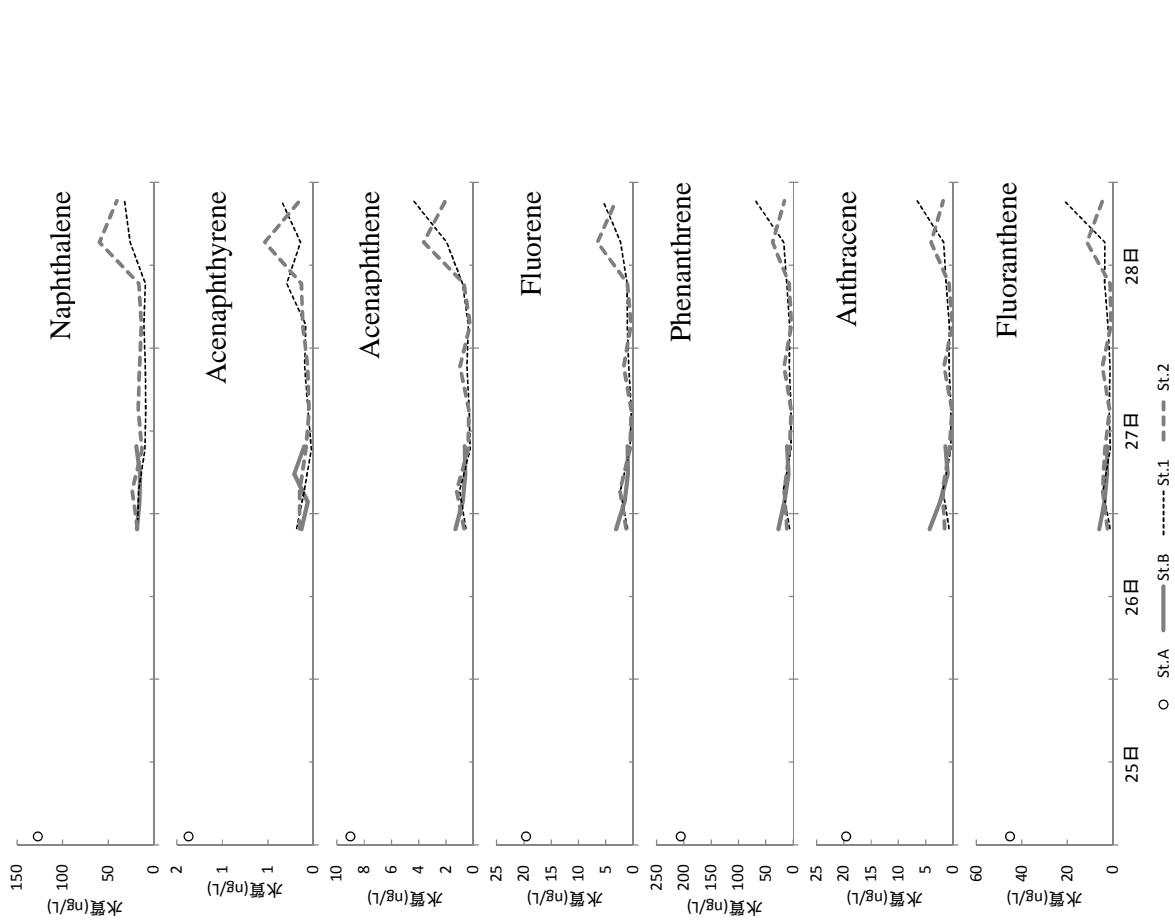


圖 3-6-2-2 出水時調查結果 (2008 年 5 月 25 日出水時)

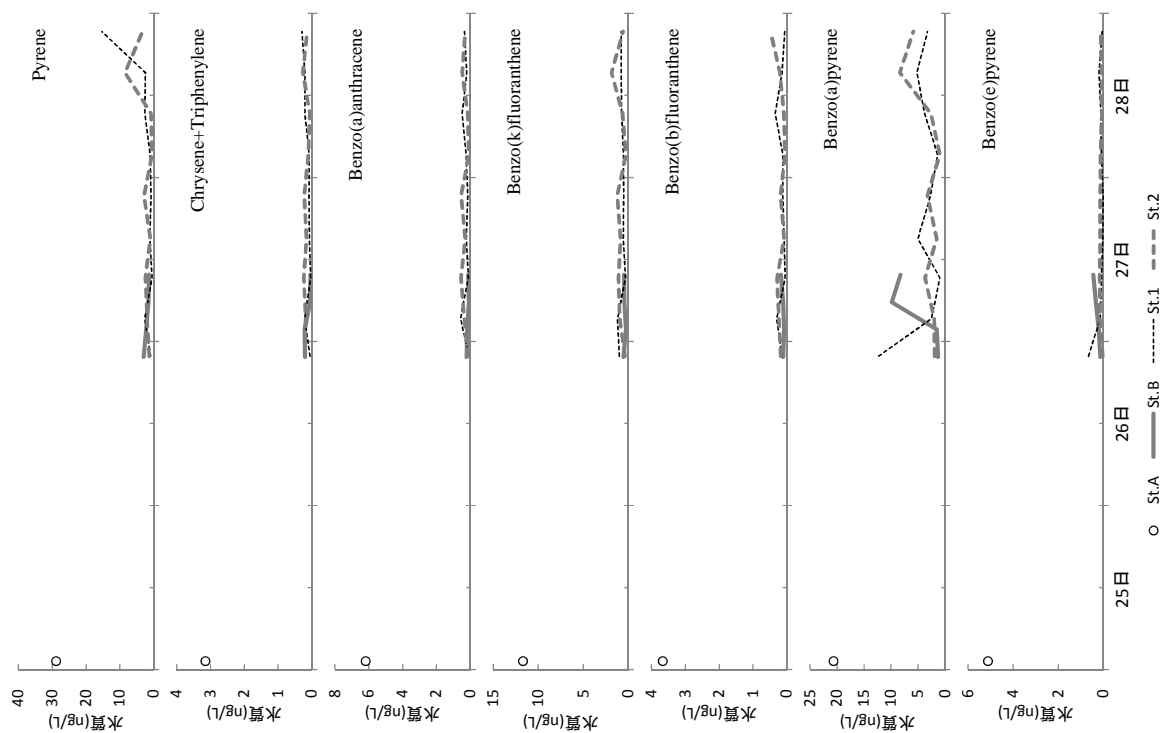


圖 3-6-2-3 出水時調查結果 (2008 年 5 月 25 日出水時)

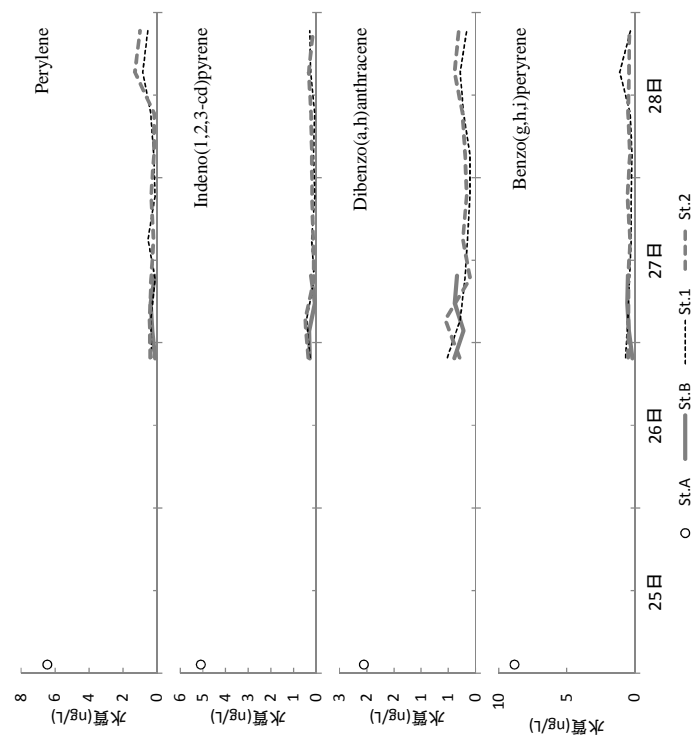


圖 3-6-2-4 出水時調查結果 (2008 年 5 月 25 日出水時)

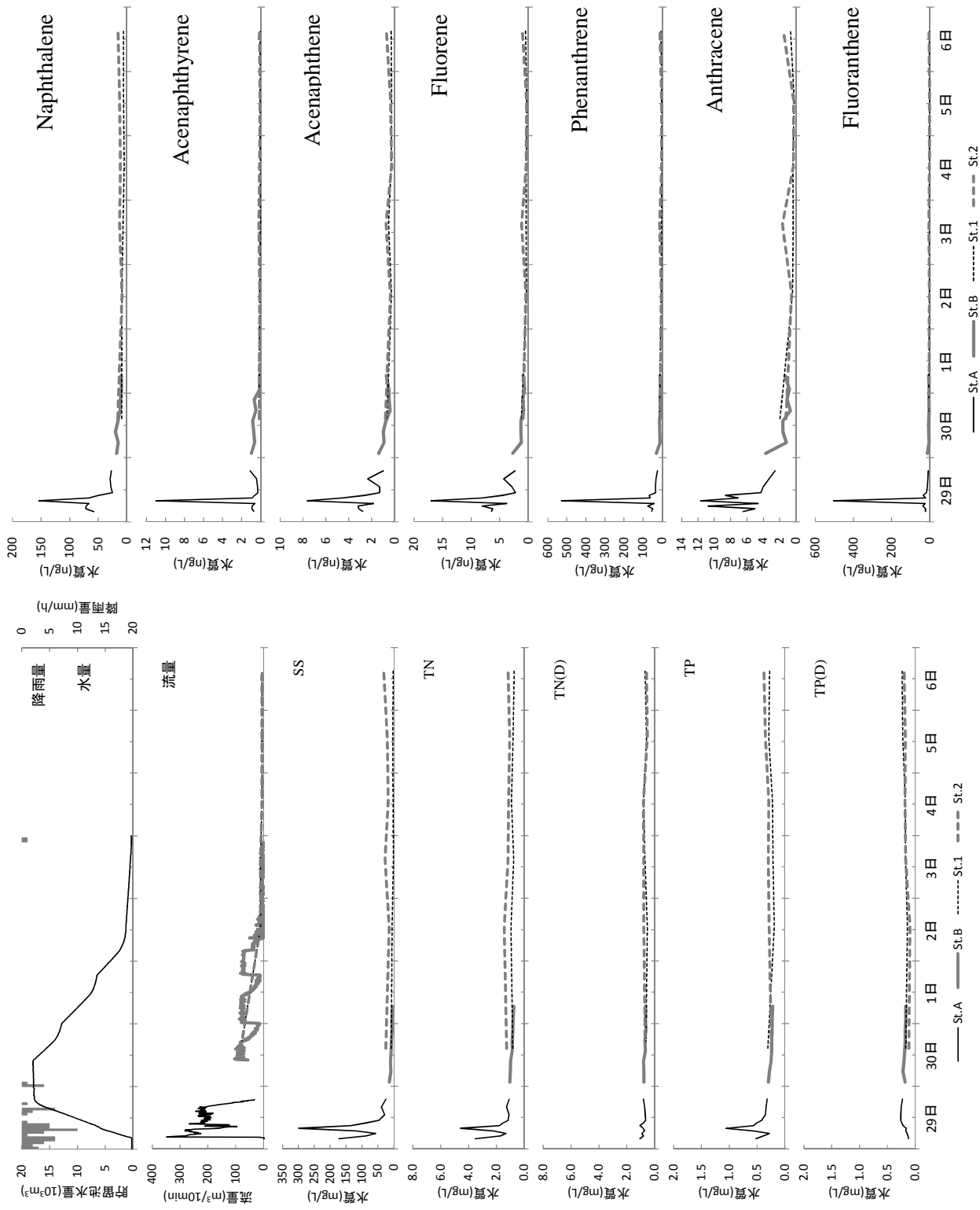


図 3-6-3-1 出水時調査結果 (2008 年 6 月 29 日出水時)

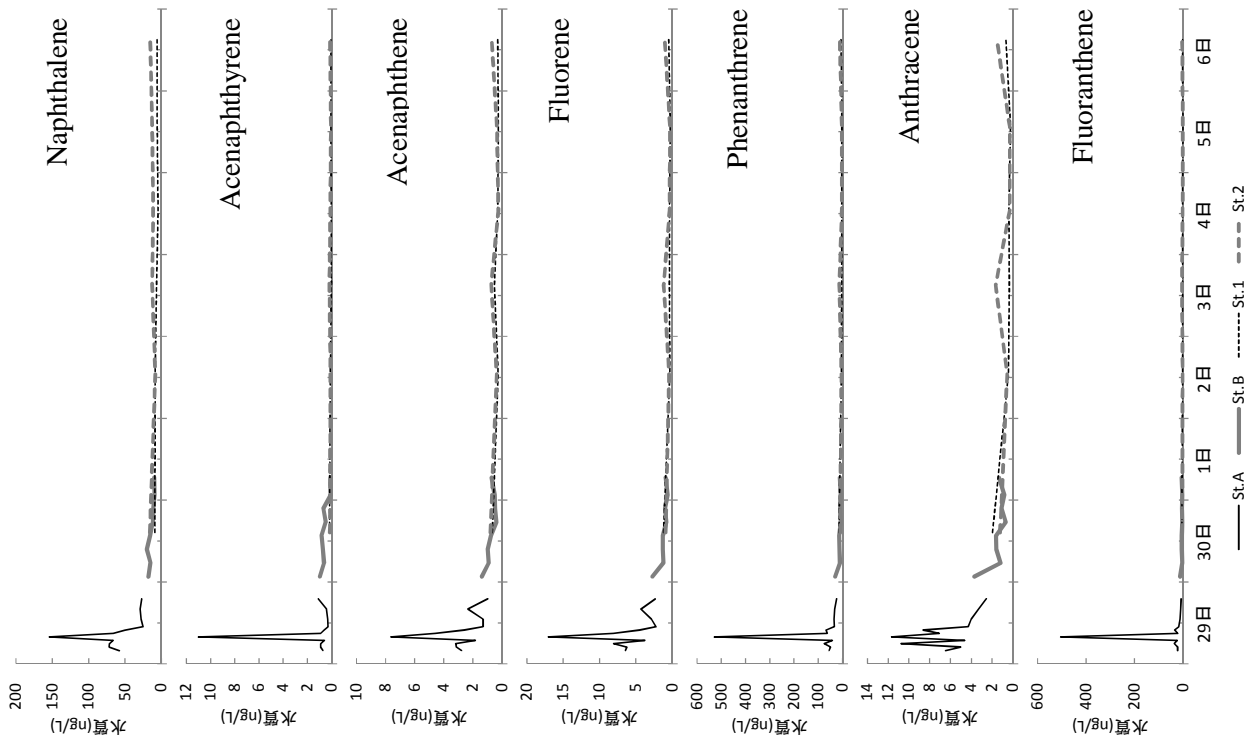


図 3-6-3-2 出水時調査結果 (2008 年 6 月 29 日出水時)

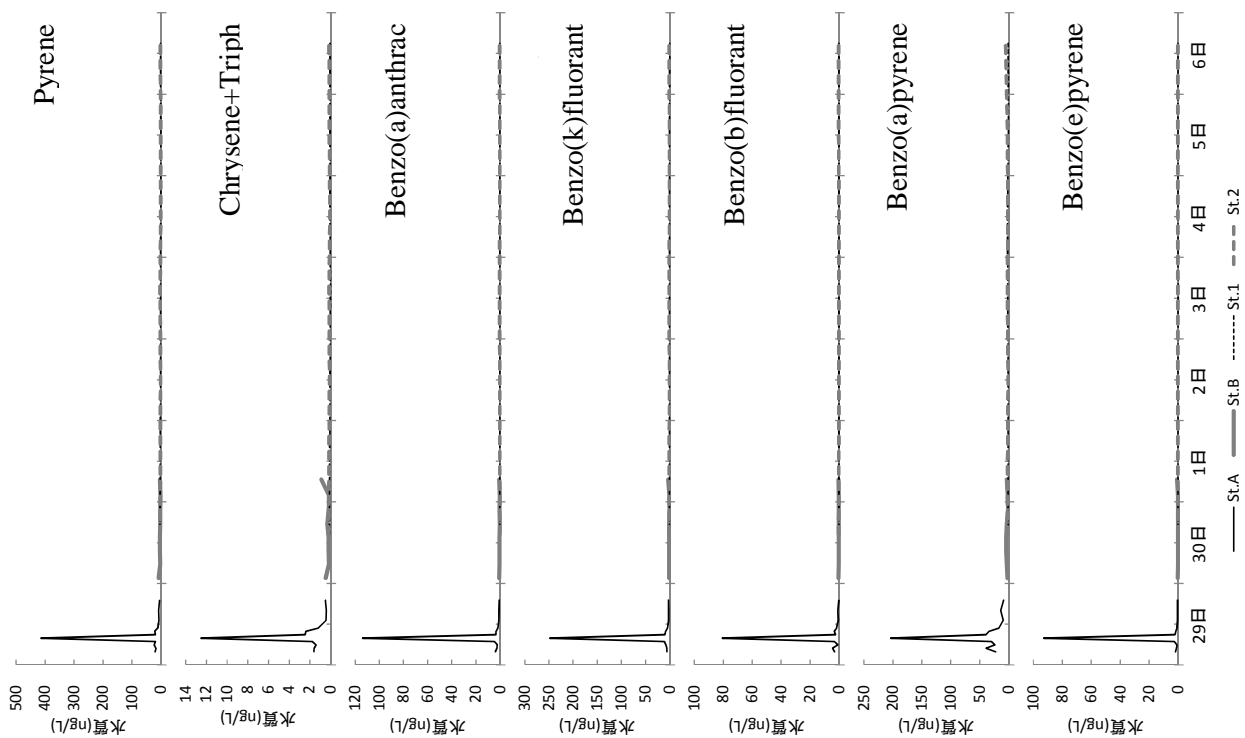


圖 3-6-3-3 出水時調查結果 (2008 年 6 月 29 日出水時)

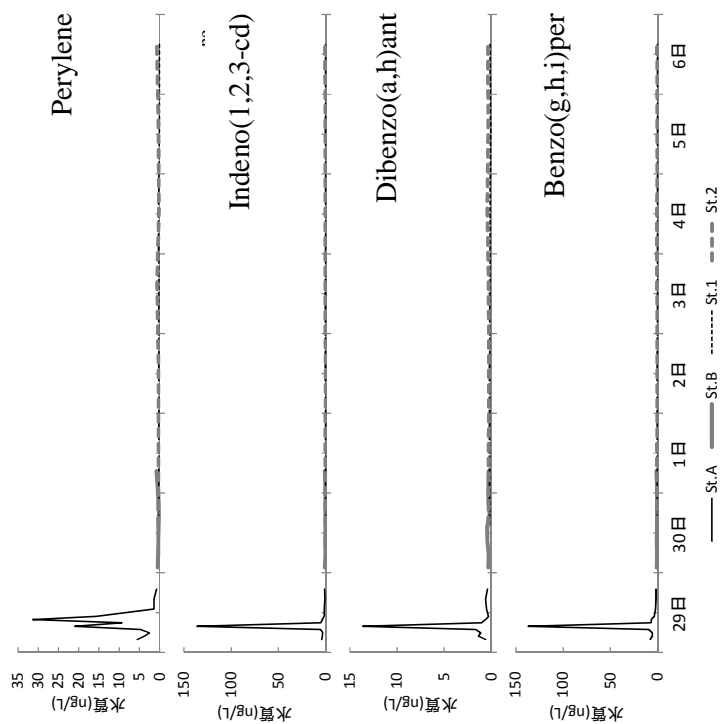


圖 3-6-3-4 出水時調查結果 (2008 年 6 月 29 日出水時)

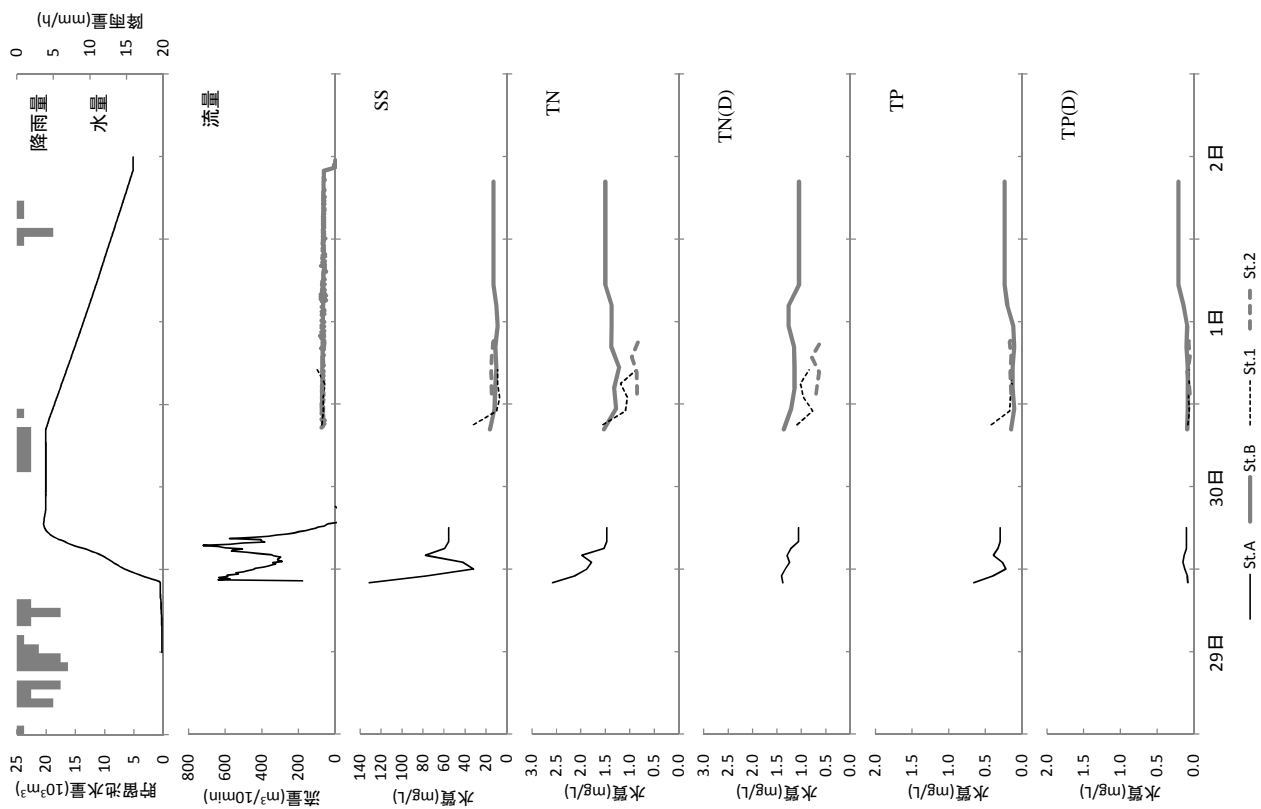


図 3-6-4-1 出水時調査結果 (2006 年 6 月 29 日出水時)

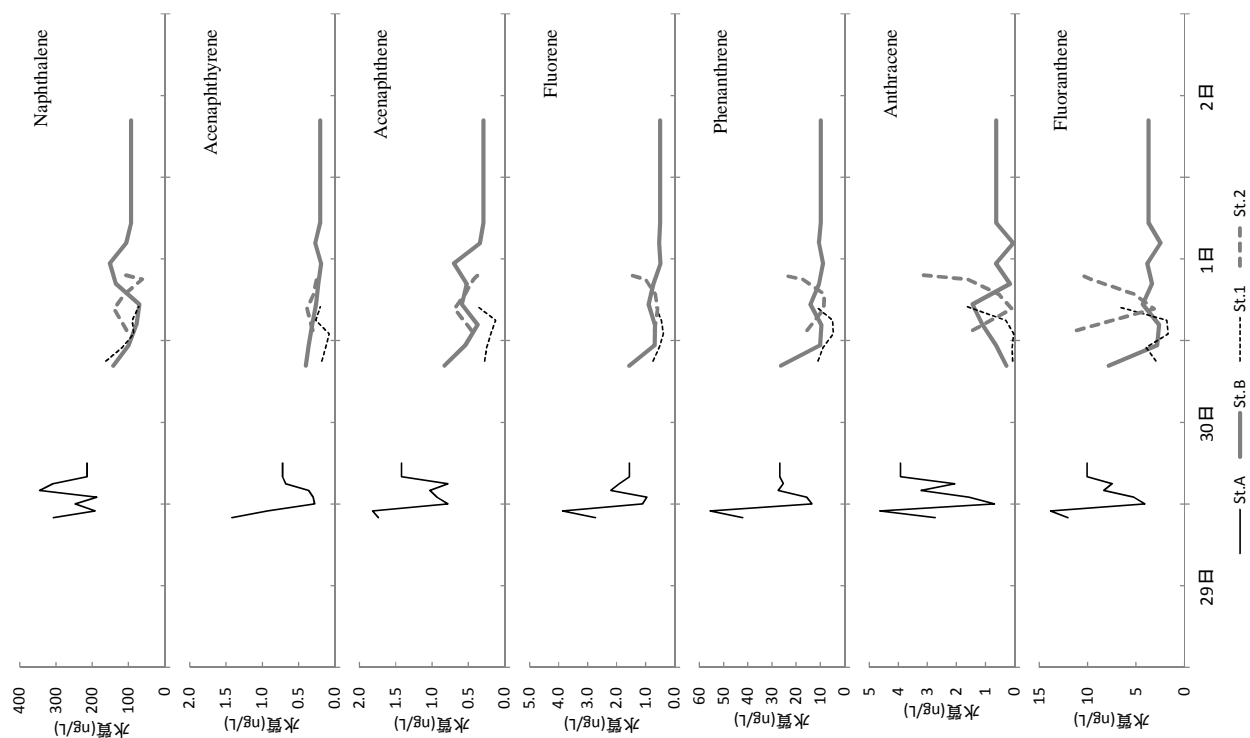


図 3-6-4-2 出水時調査結果 (2006 年 6 月 29 日出水時)



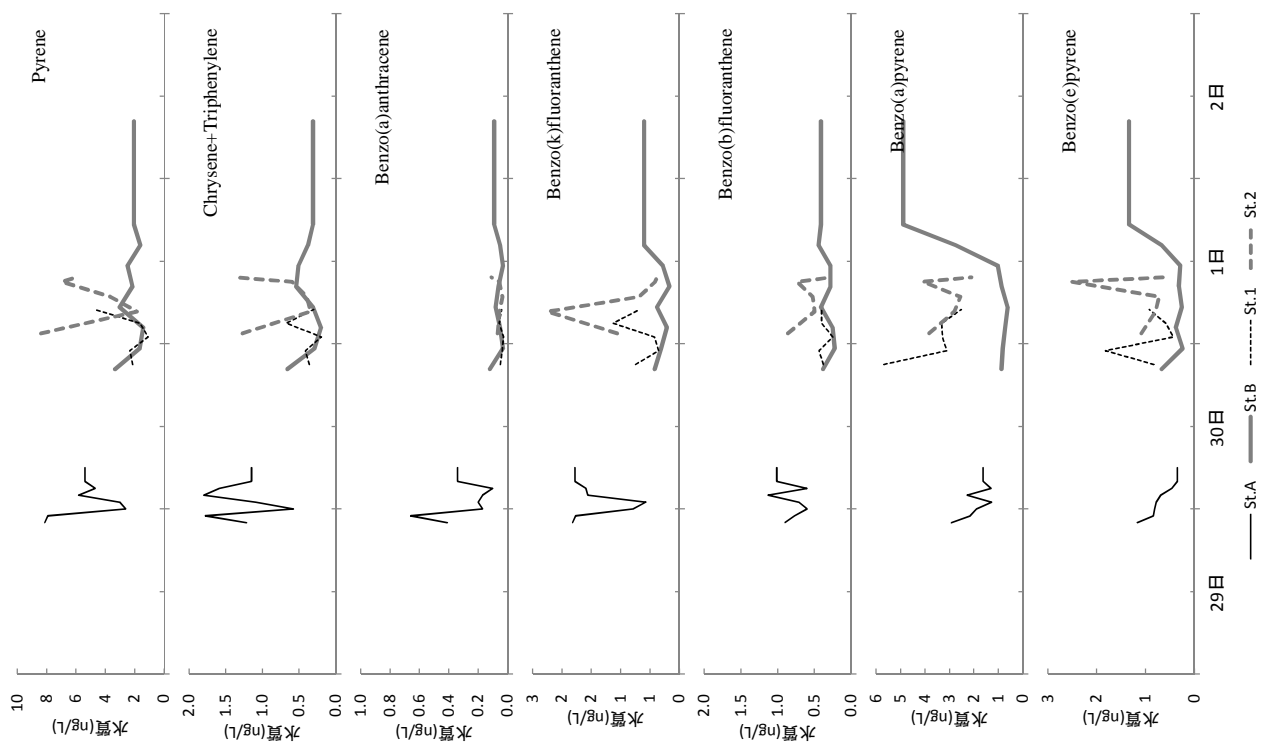


図 3-6-4-3 出水時調査結果 (2006 年 6 月 29 日出水時)

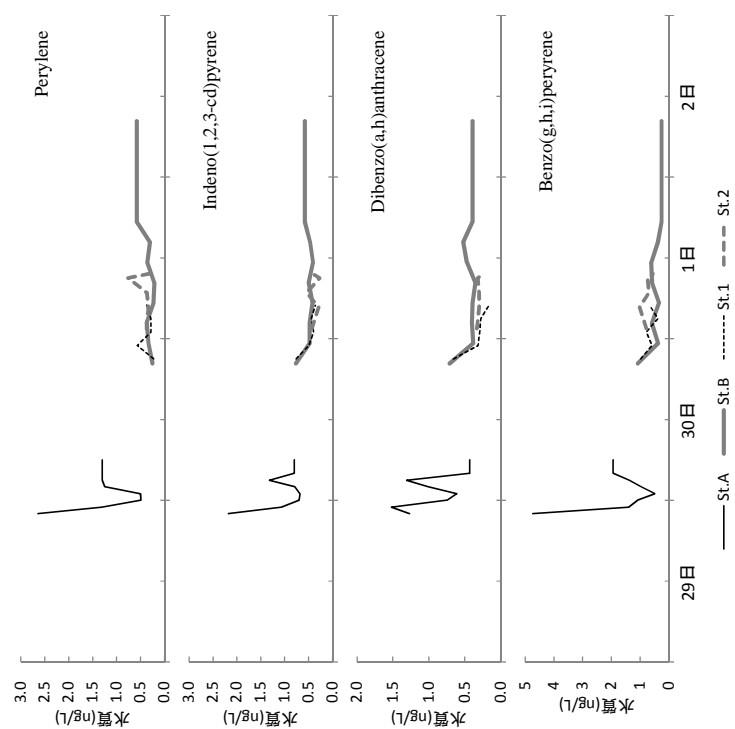


図 3-6-4-4 出水時調査結果 (2006 年 6 月 29 日出水時)

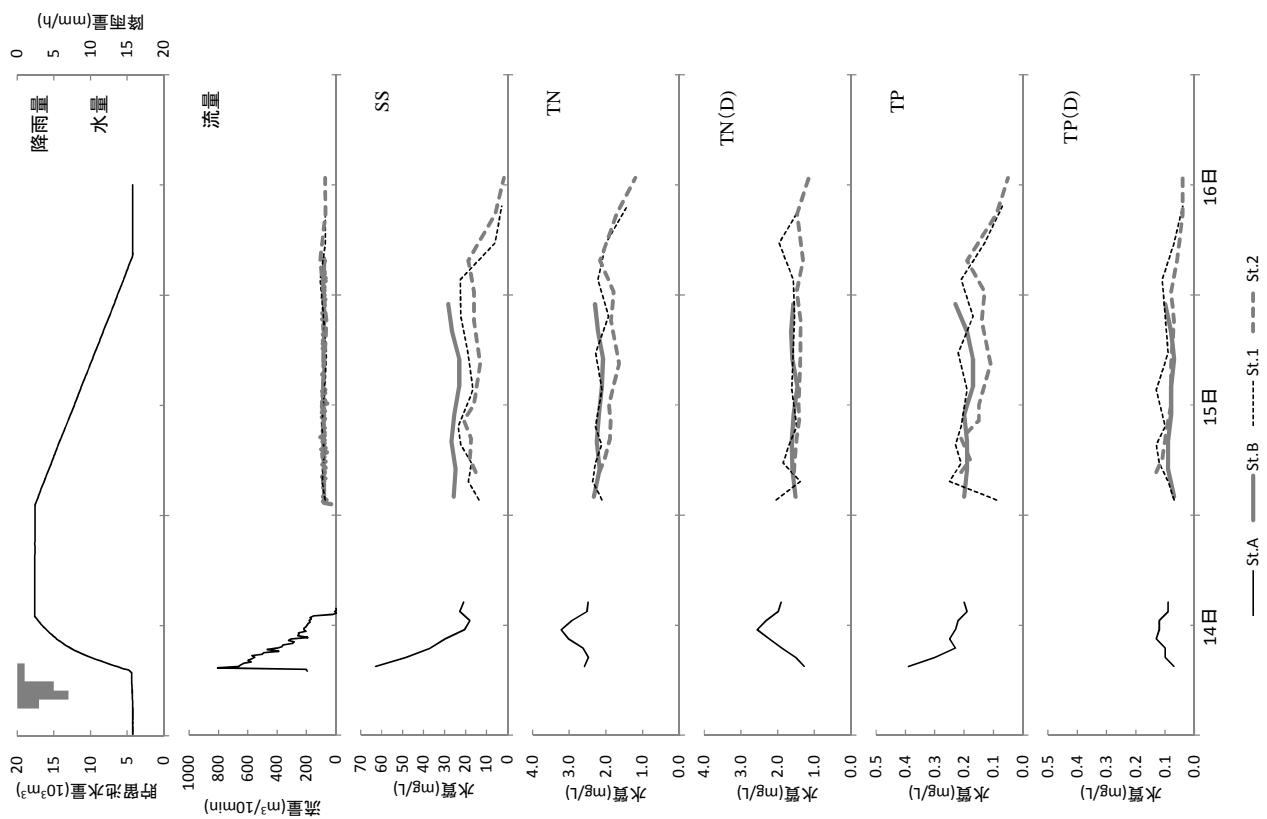


図 3-6-5-1 出水時調査結果 (2009 年 11 月 14 日出水時)

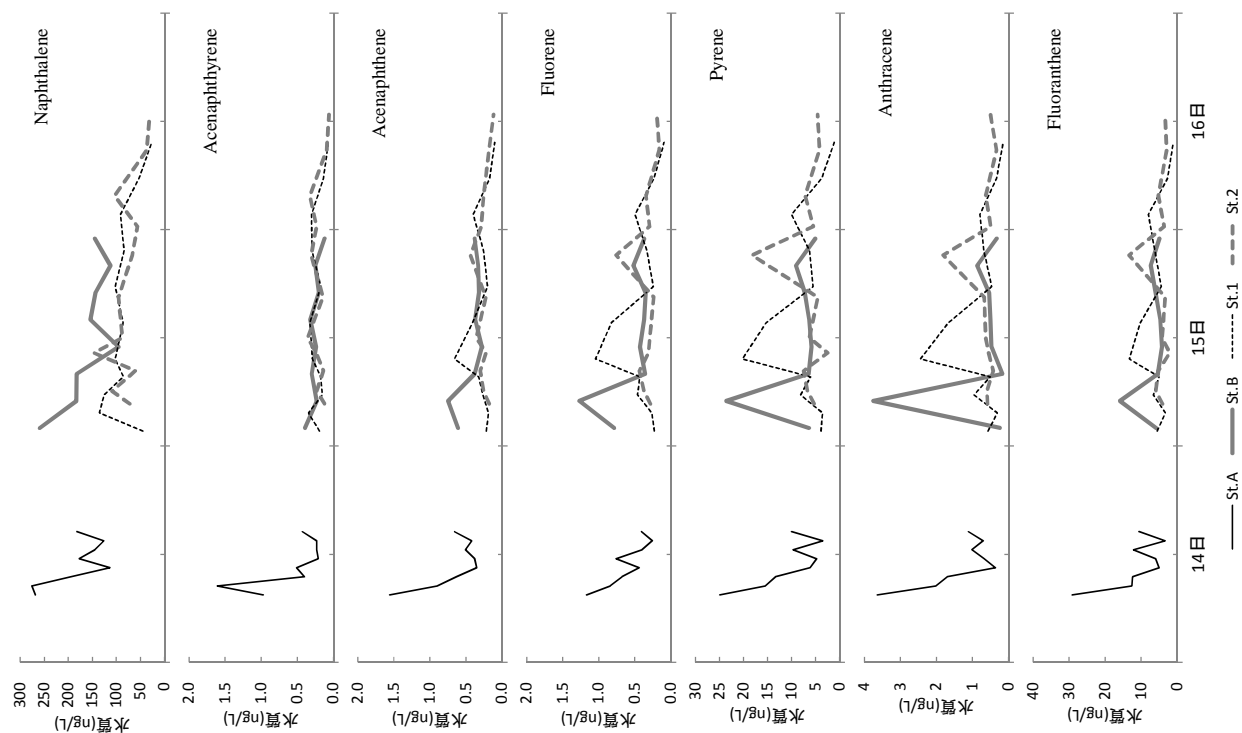


図 3-6-5-2 出水時調査結果 (2009 年 11 月 14 日出水時)

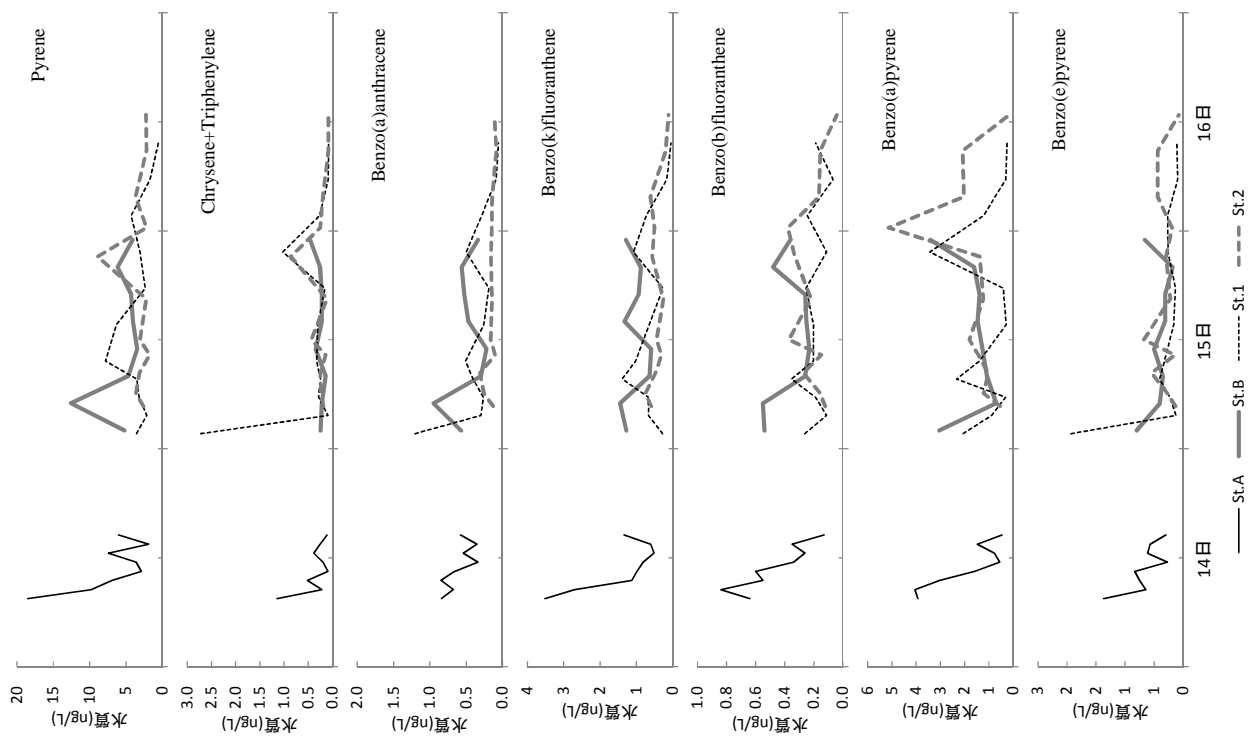


図 3-6-5-3 出水時調査結果 (2009 年 11 月 14 日出水時)

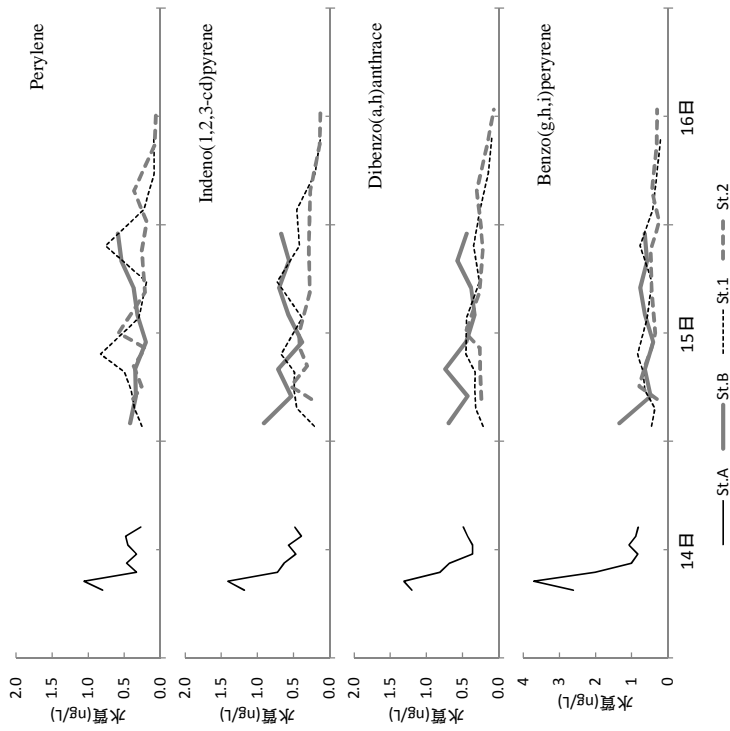


図 3-6-5-4 出水時調査結果 (2009 年 11 月 14 日出水時)

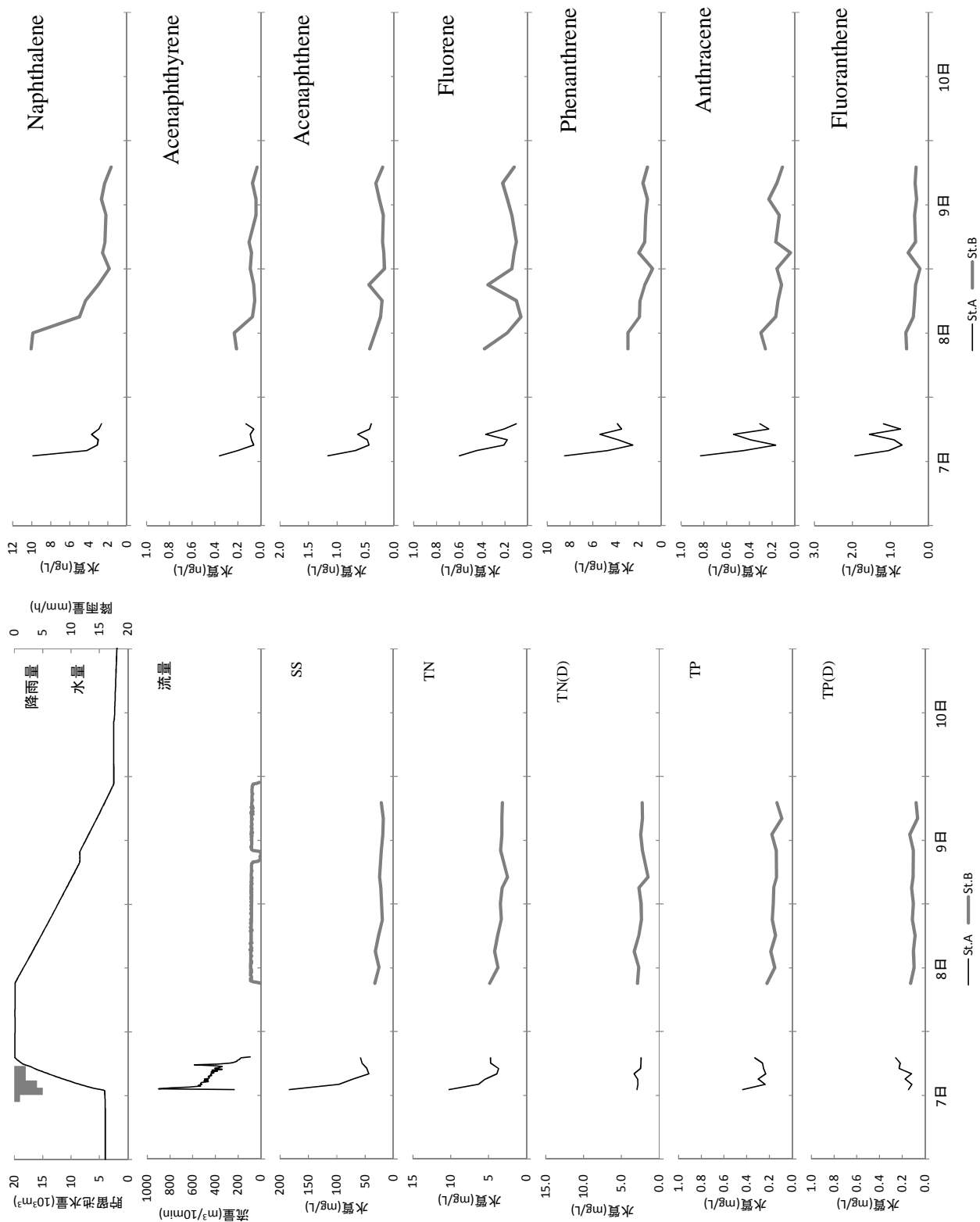


図 3-6-6-1 出水時調査結果 (2010 年 5 月 7 日出水時)

図 3-6-6-2 出水時調査結果 (2010 年 5 月 7 日出水時)

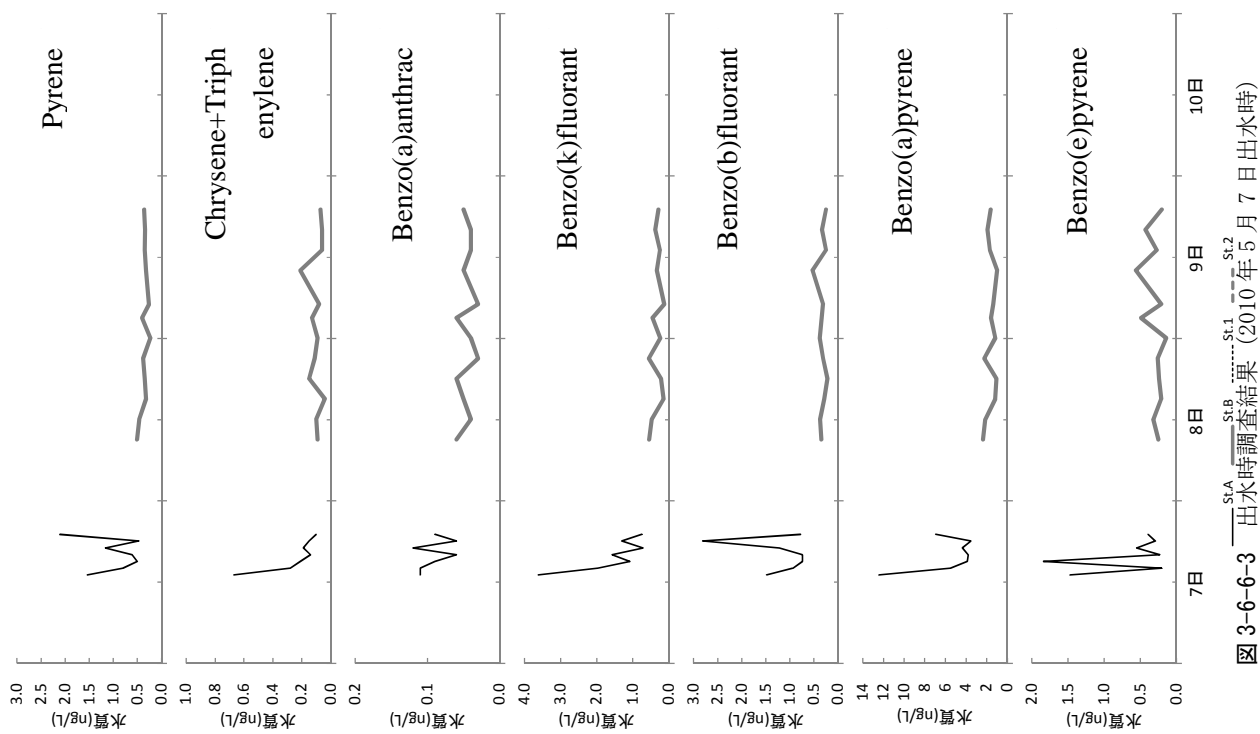


图 3-6-6-3 出水時調査結果 (2010 年 5 月 7 日出水時)

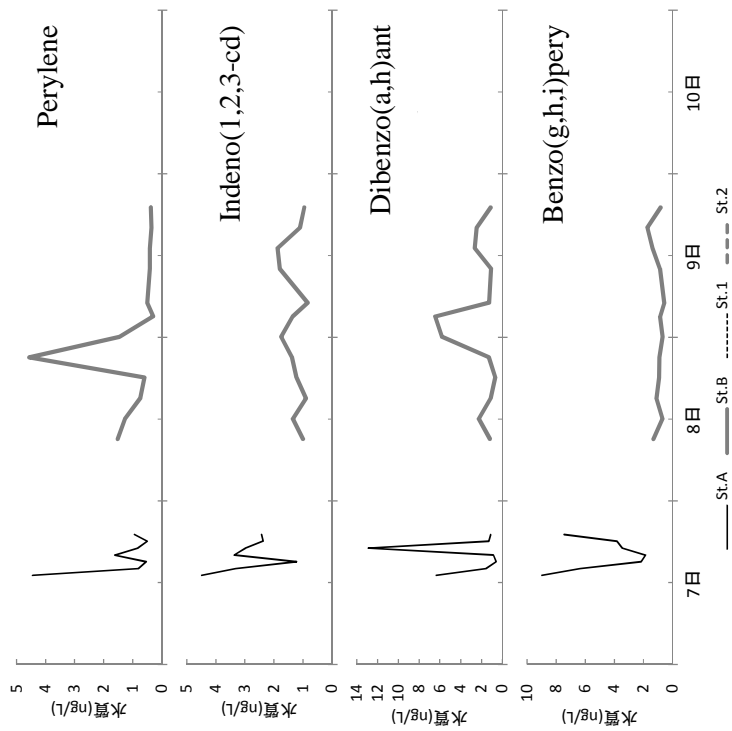


图 3-6-6-4 出水時調査結果 (2010 年 5 月 7 日出水時)

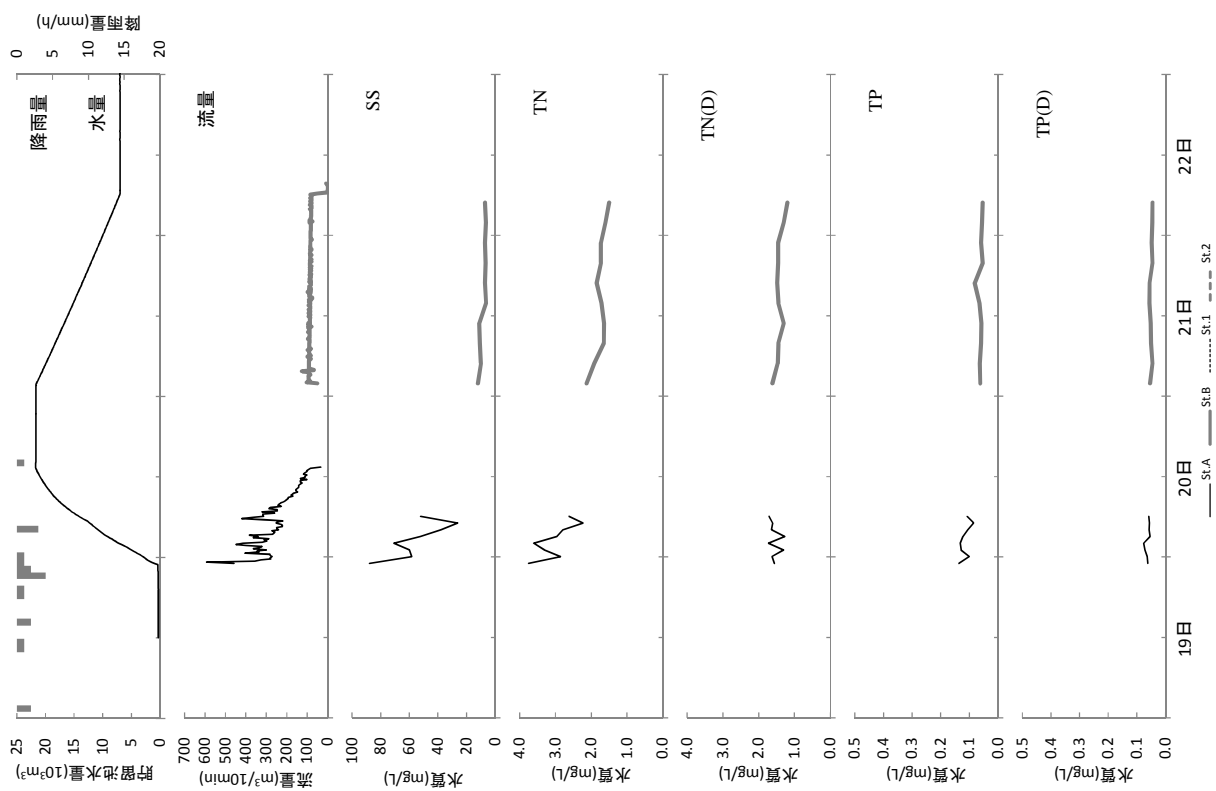


図 3-6-7-1 出水時調査結果 (2010 年 5 月 19 日出水時)

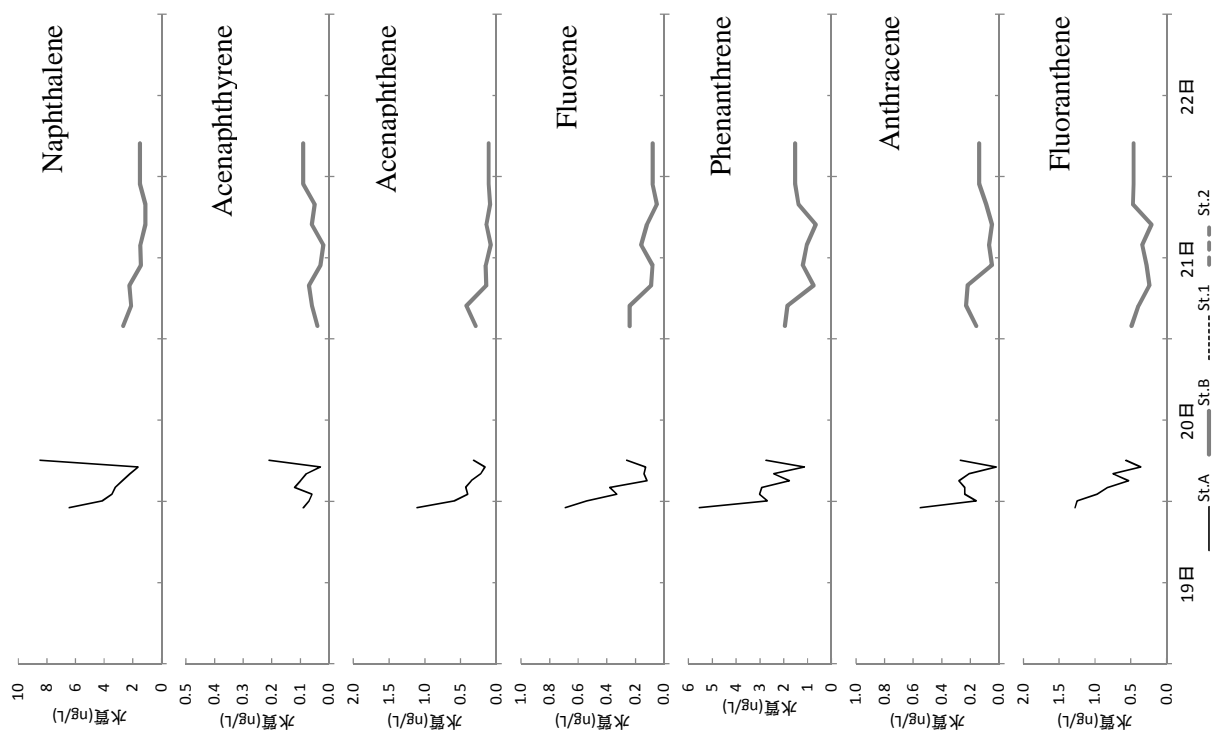


図 3-6-7-2 出水時調査結果 (2010 年 5 月 19 日出水時)

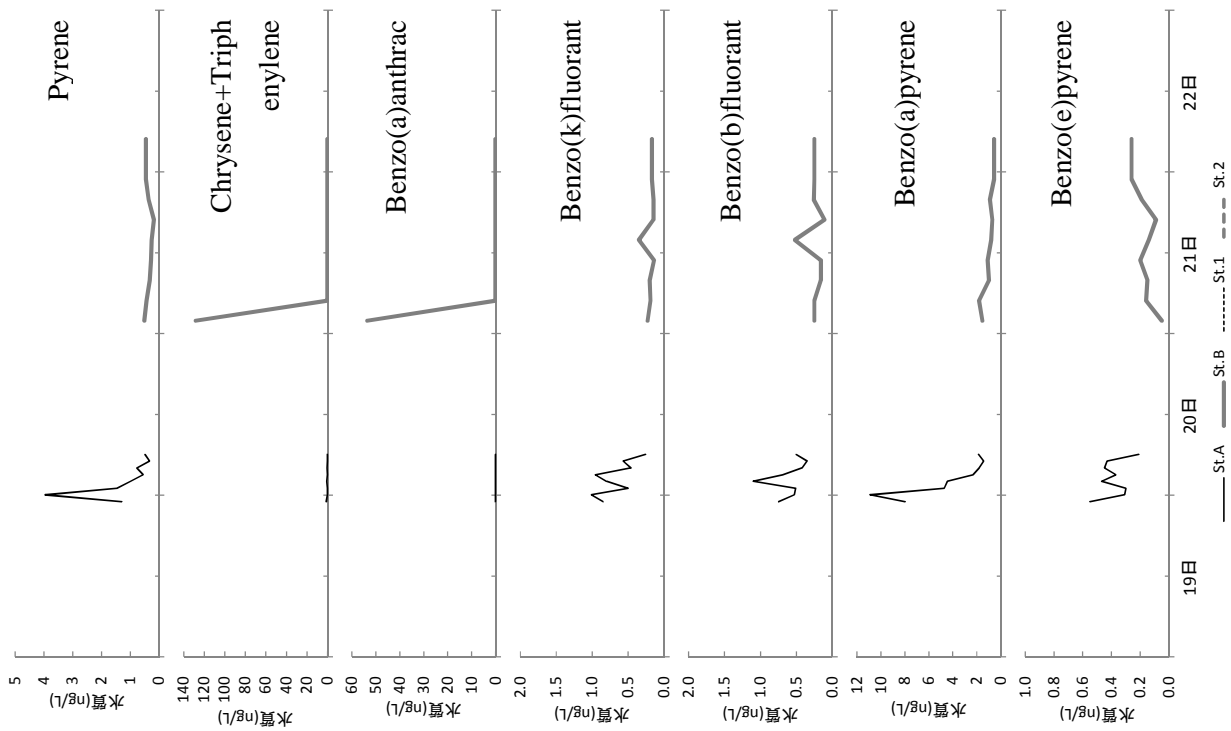


図 3-6-7-3 出水時調査結果 (2010 年 5 月 19 日出水時)

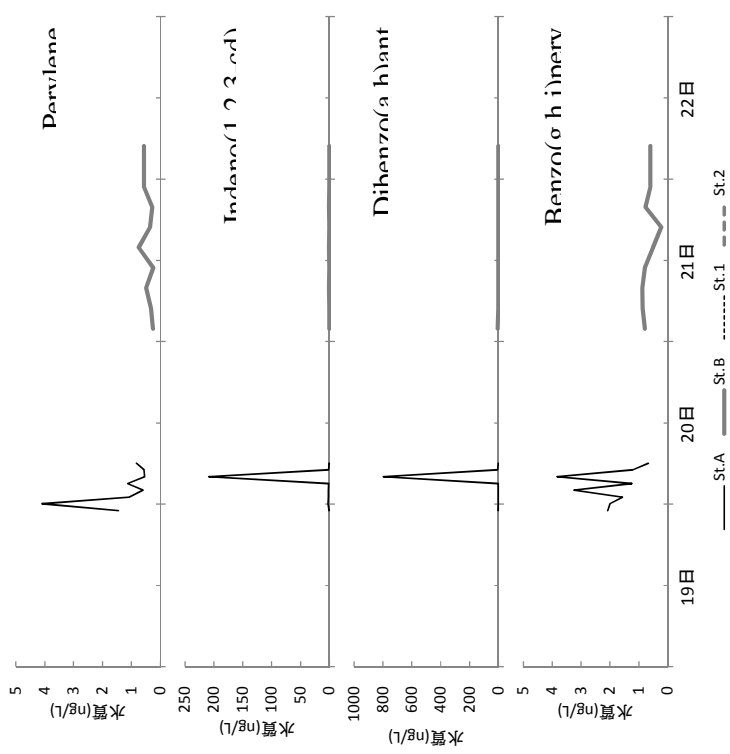


図 3-6-7-4 出水時調査結果 (2010 年 5 月 19 日出水時)

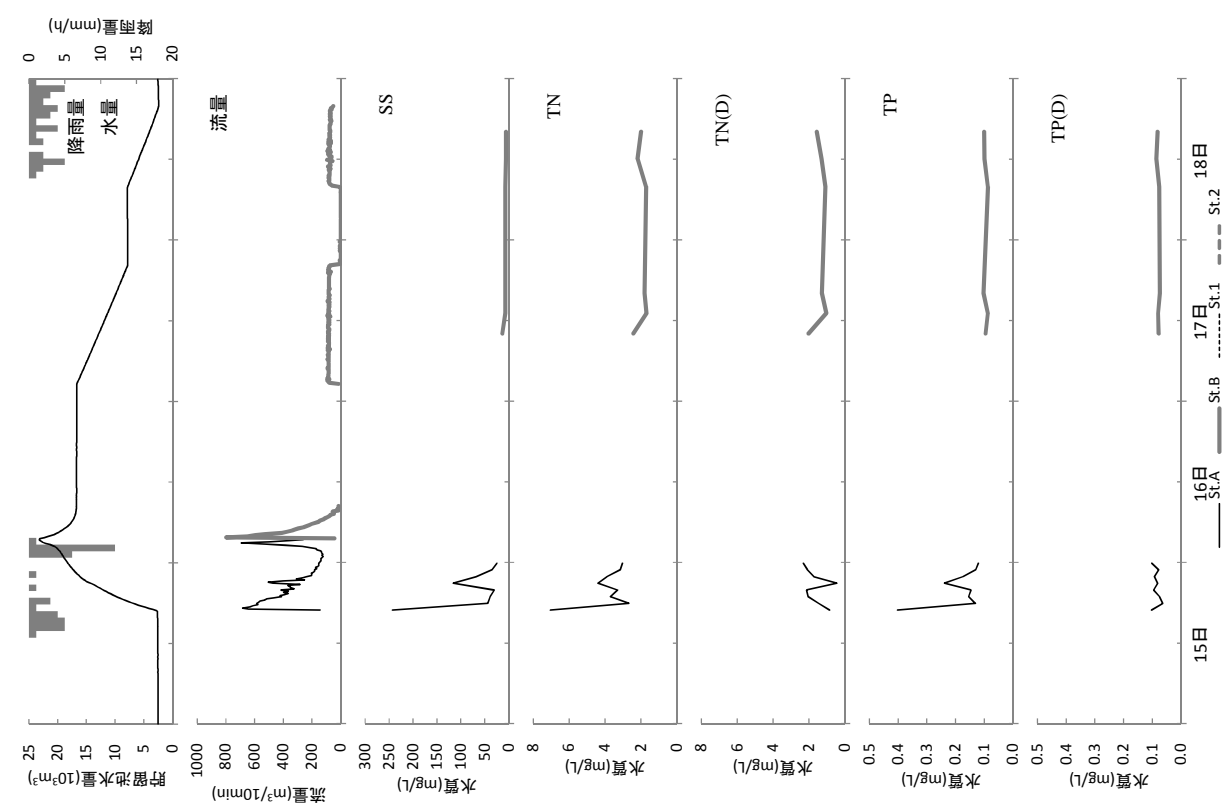


図 3-6-8-1 出水時調査結果 (2010 年 6 月 15 日出水時)

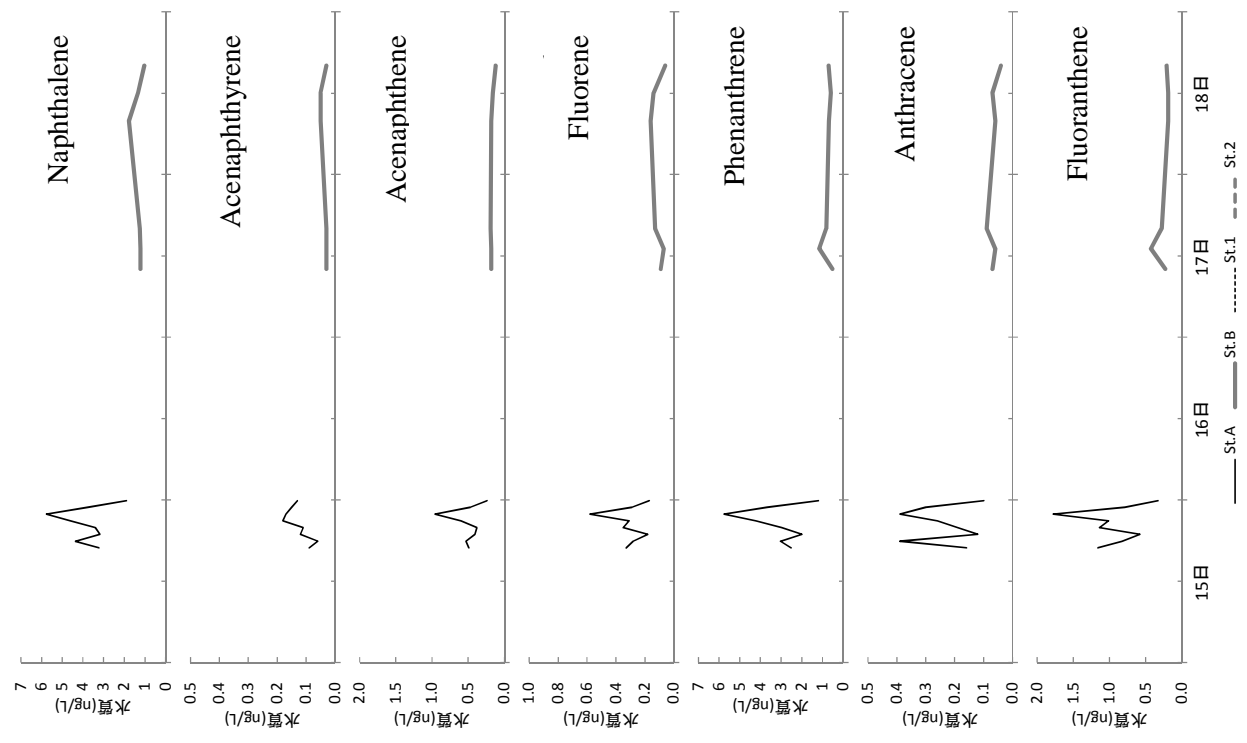


図 3-6-8-2 出水時調査結果 (2010 年 6 月 15 日出水時)



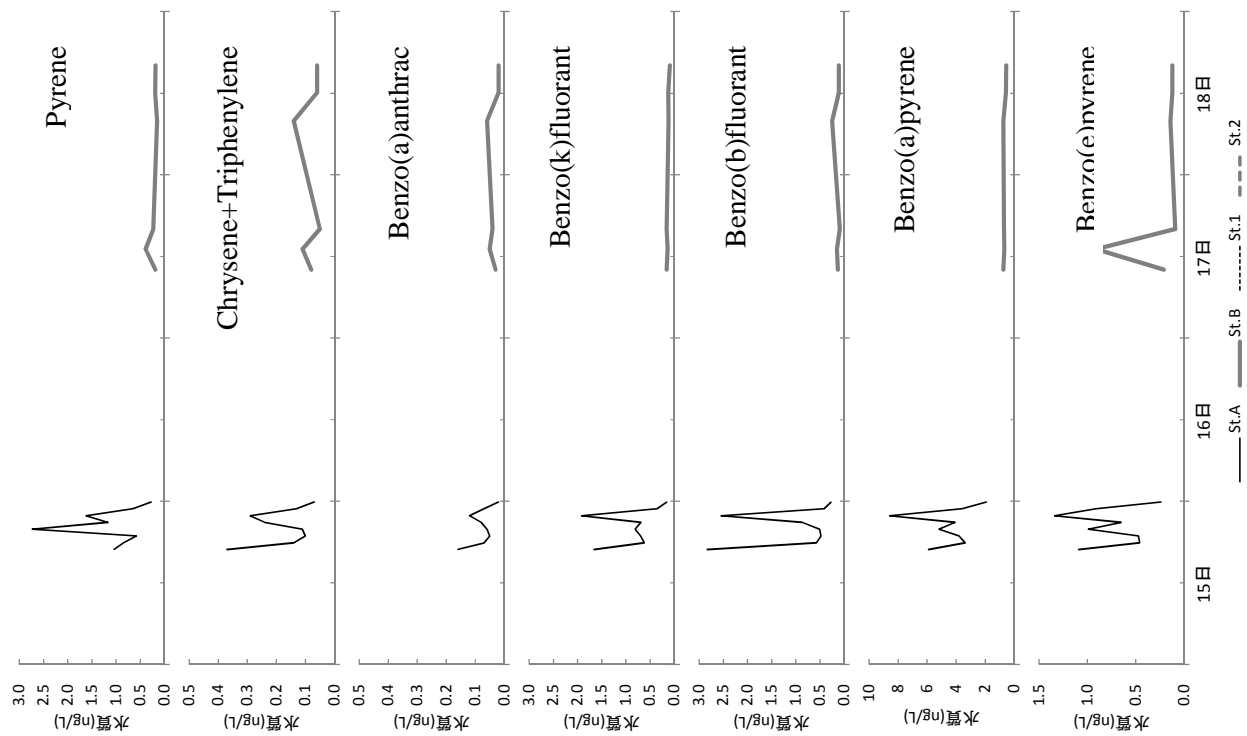


図 3-6-8-3 出水時調査結果 (2010 年 6 月 15 日出水時)

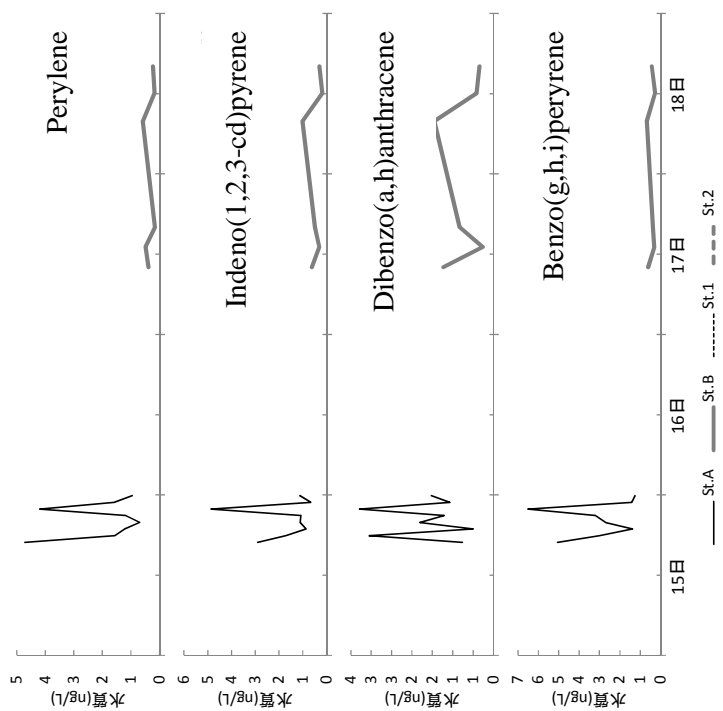


図 3-6-8-4 出水時調査結果 (2010 年 6 月 15 日出水時)

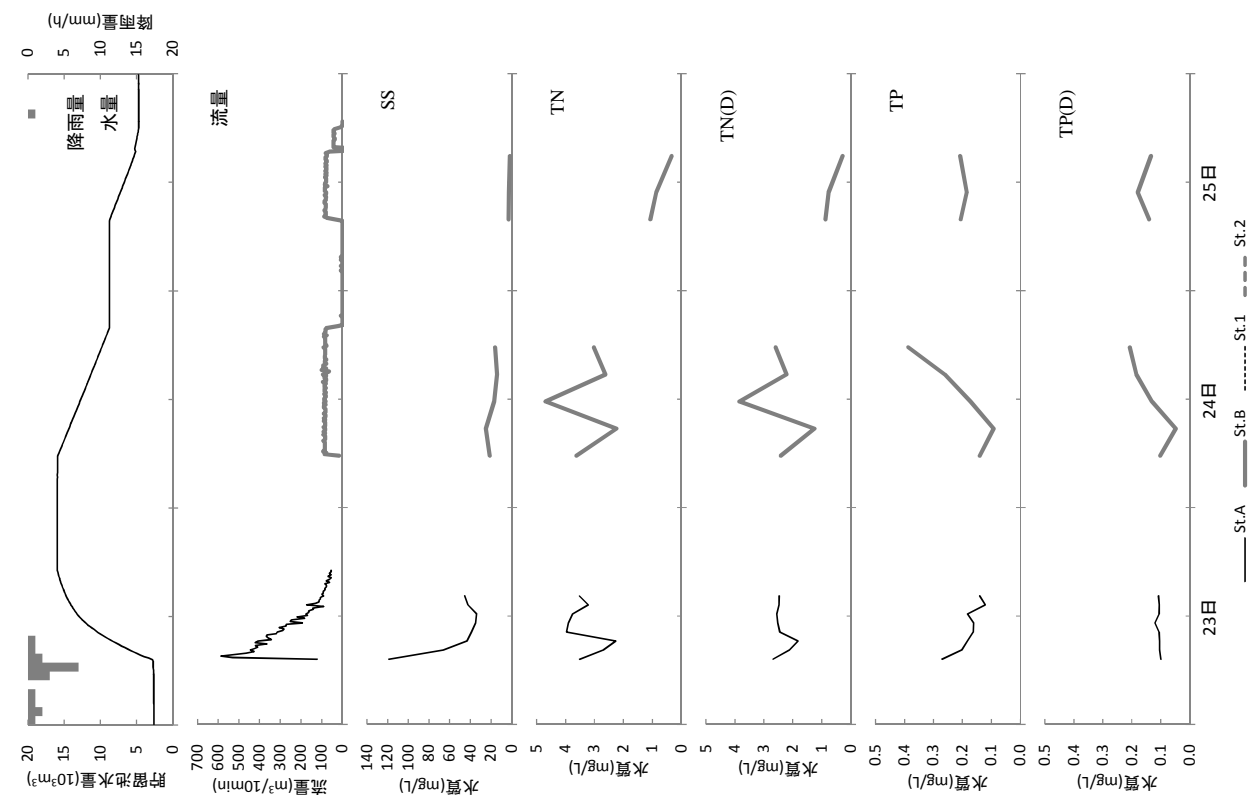


図 3-6-9-1 出水時調査結果 (2010 年 6 月 23 日出水時)

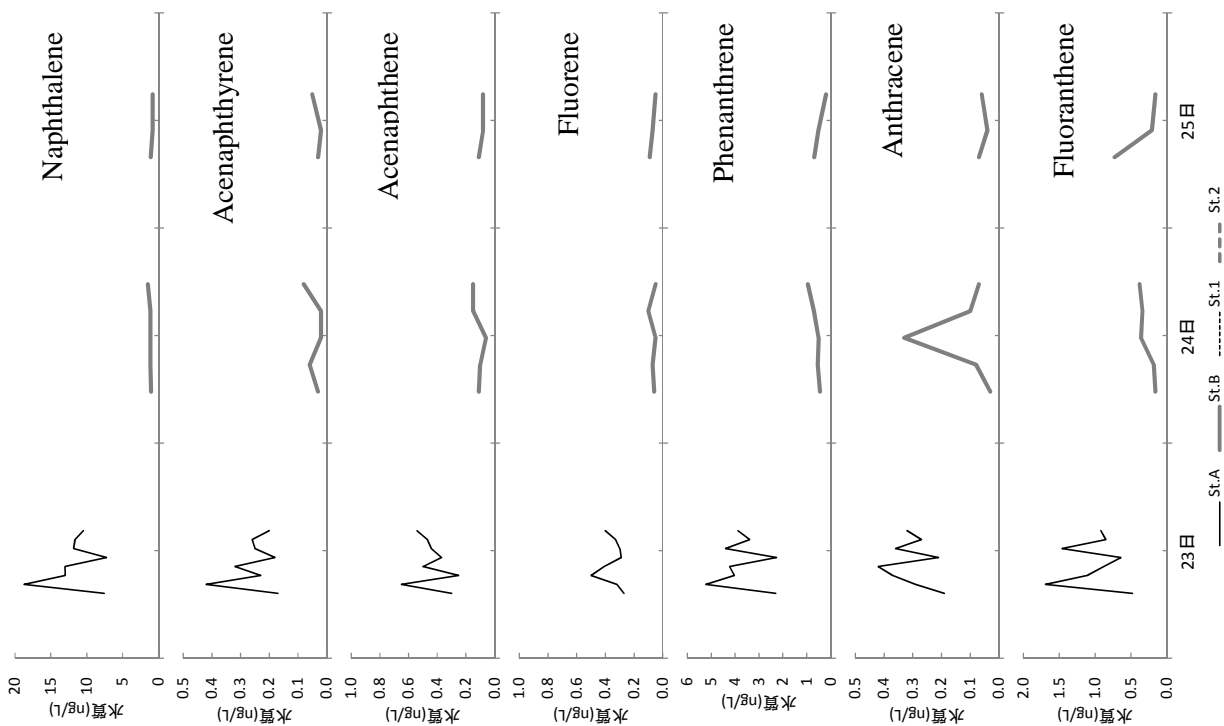


図 3-6-9-2 出水時調査結果 (2010 年 6 月 23 日出水時)

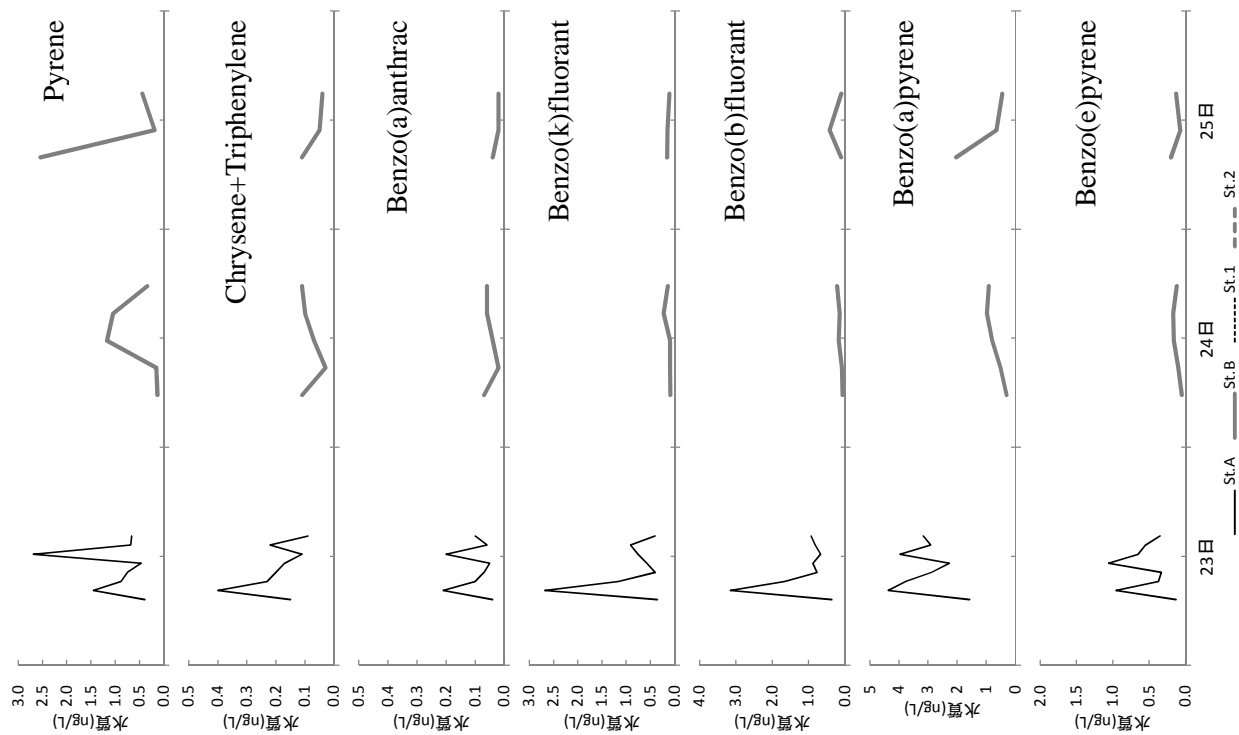


図 3-6-9-3 出水時調査結果 (2010 年 6 月 23 日出水時)

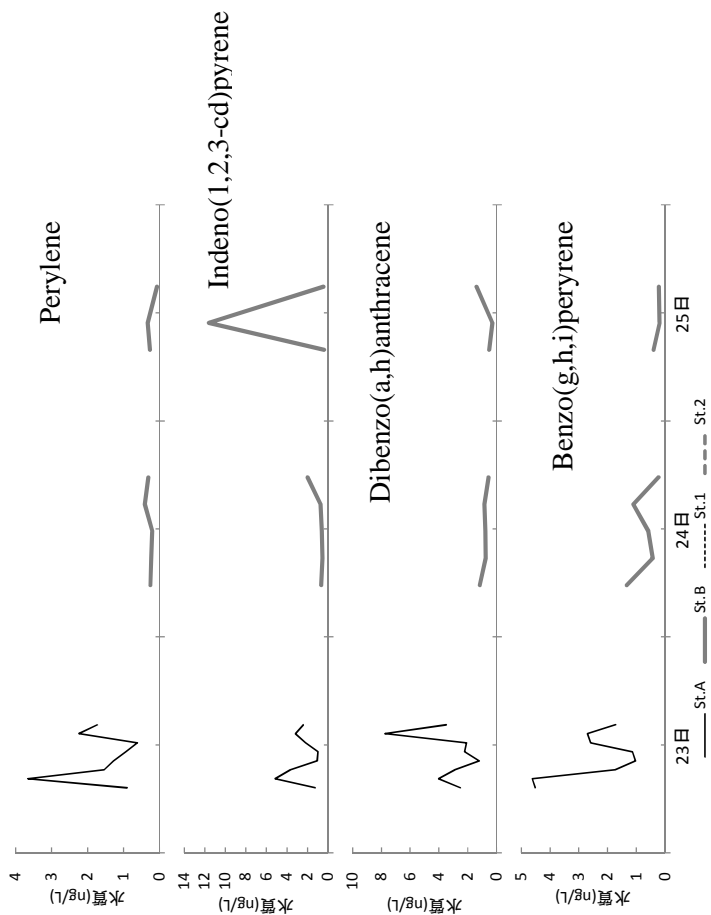


図 3-6-9-4 出水時調査結果 (2010 年 6 月 23 日出水時)

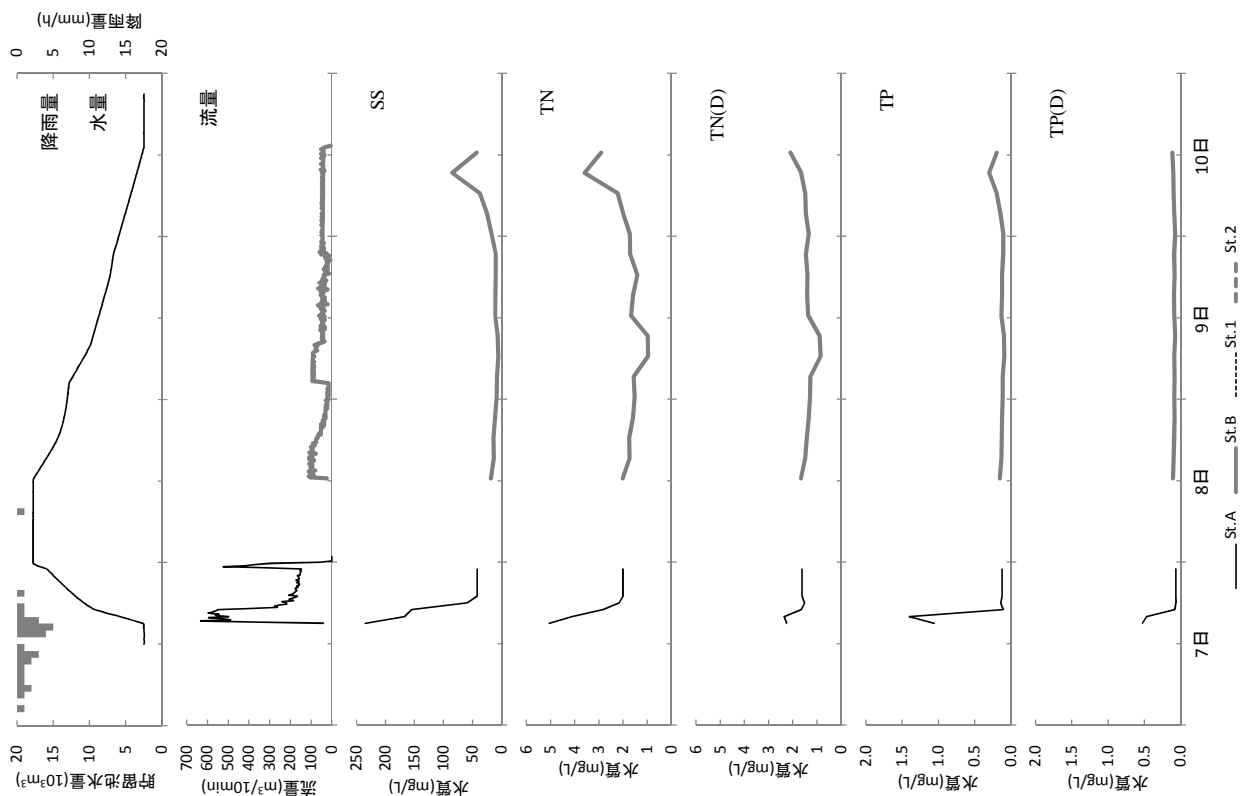


図 3-6-10-1 出水時調査結果 (2011 年 7 月 7 日出水時)

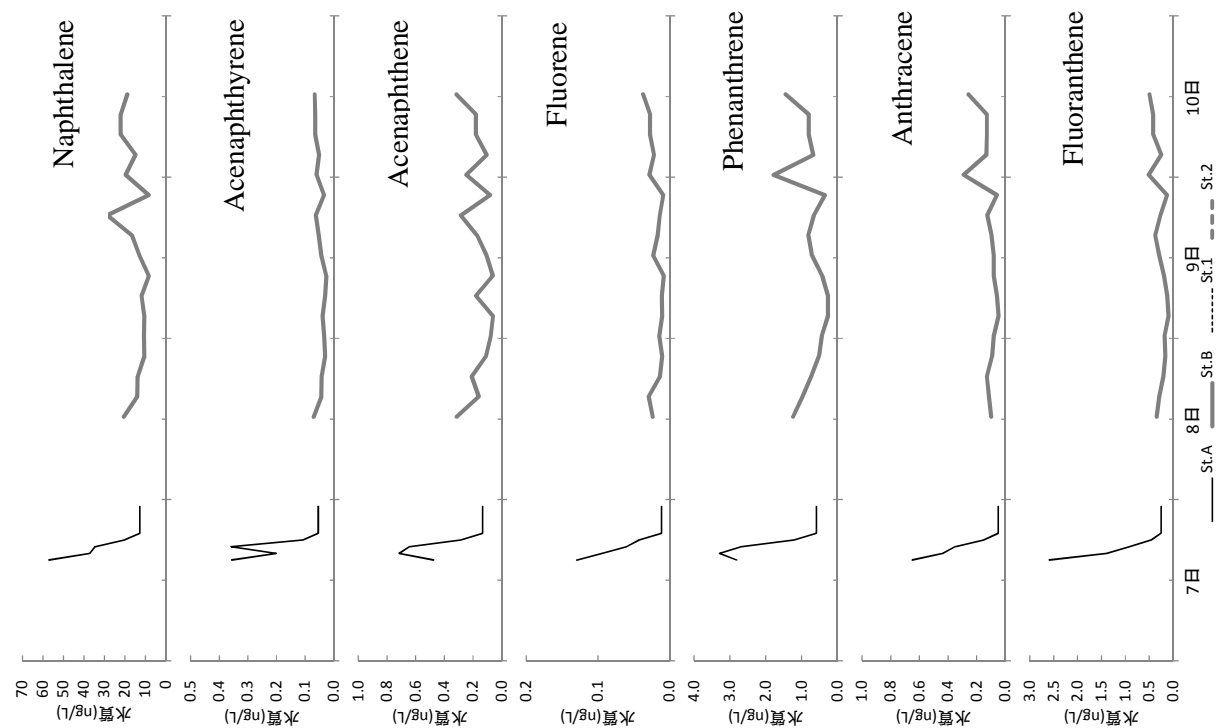


図 3-6-10-2 出水時調査結果 (2011 年 7 月 7 日出水時)

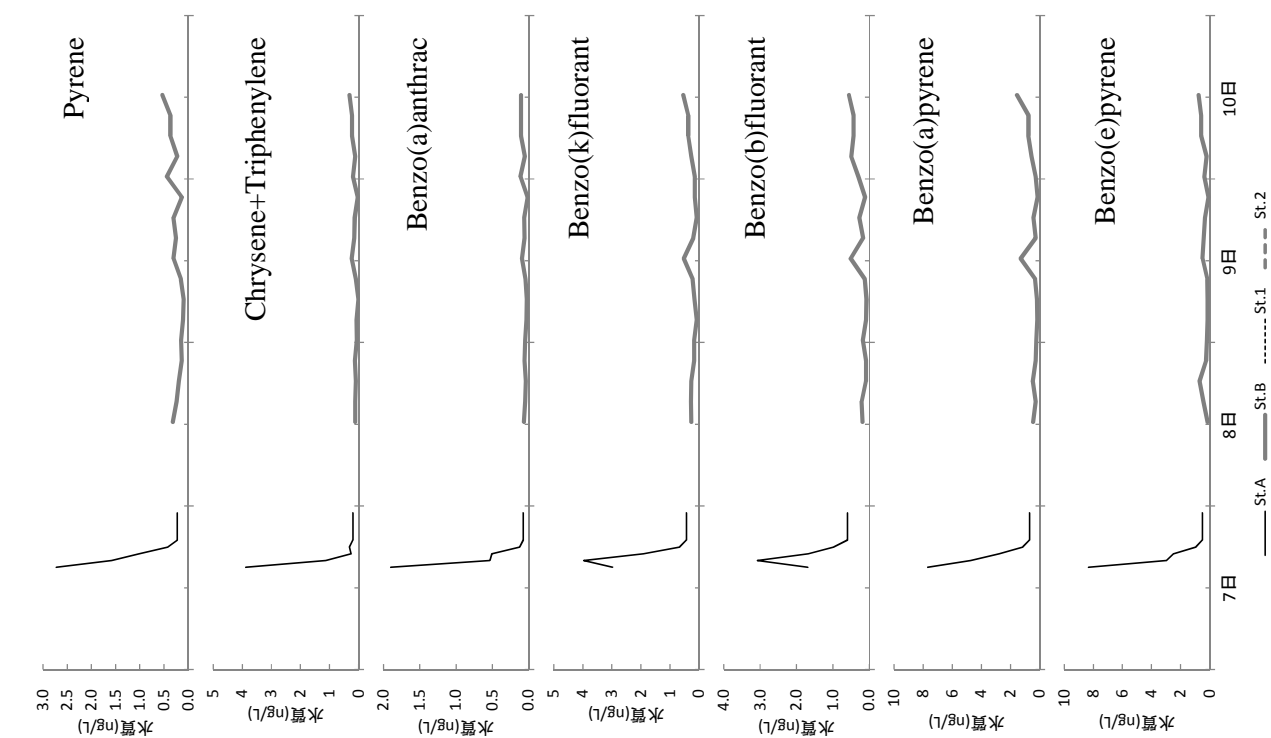


圖 3-6-10-3 出水時調查結果 (2011 年 7 月 7 日出水時)

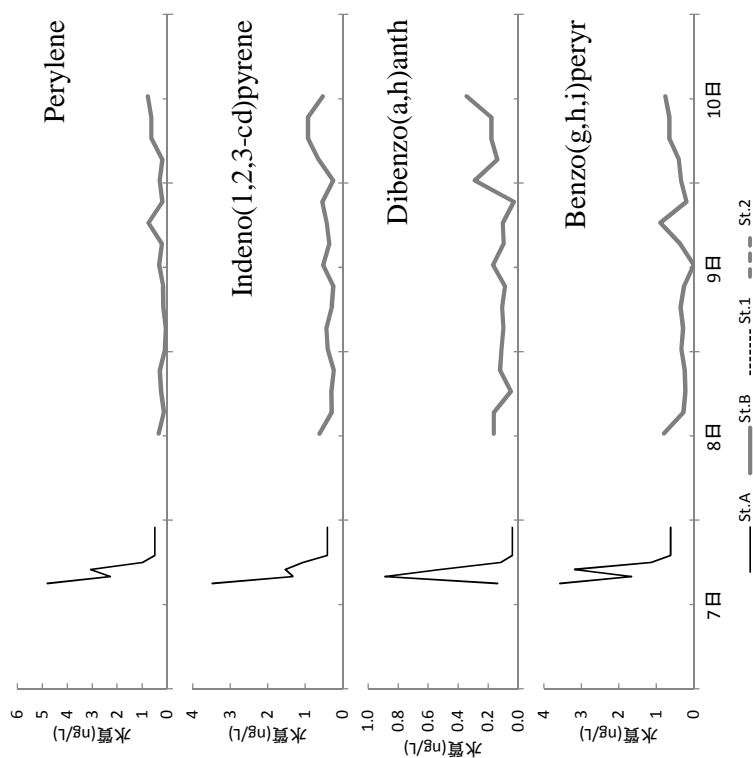


圖 3-6-10-4 出水時調查結果 (2011 年 7 月 7 日出水時)

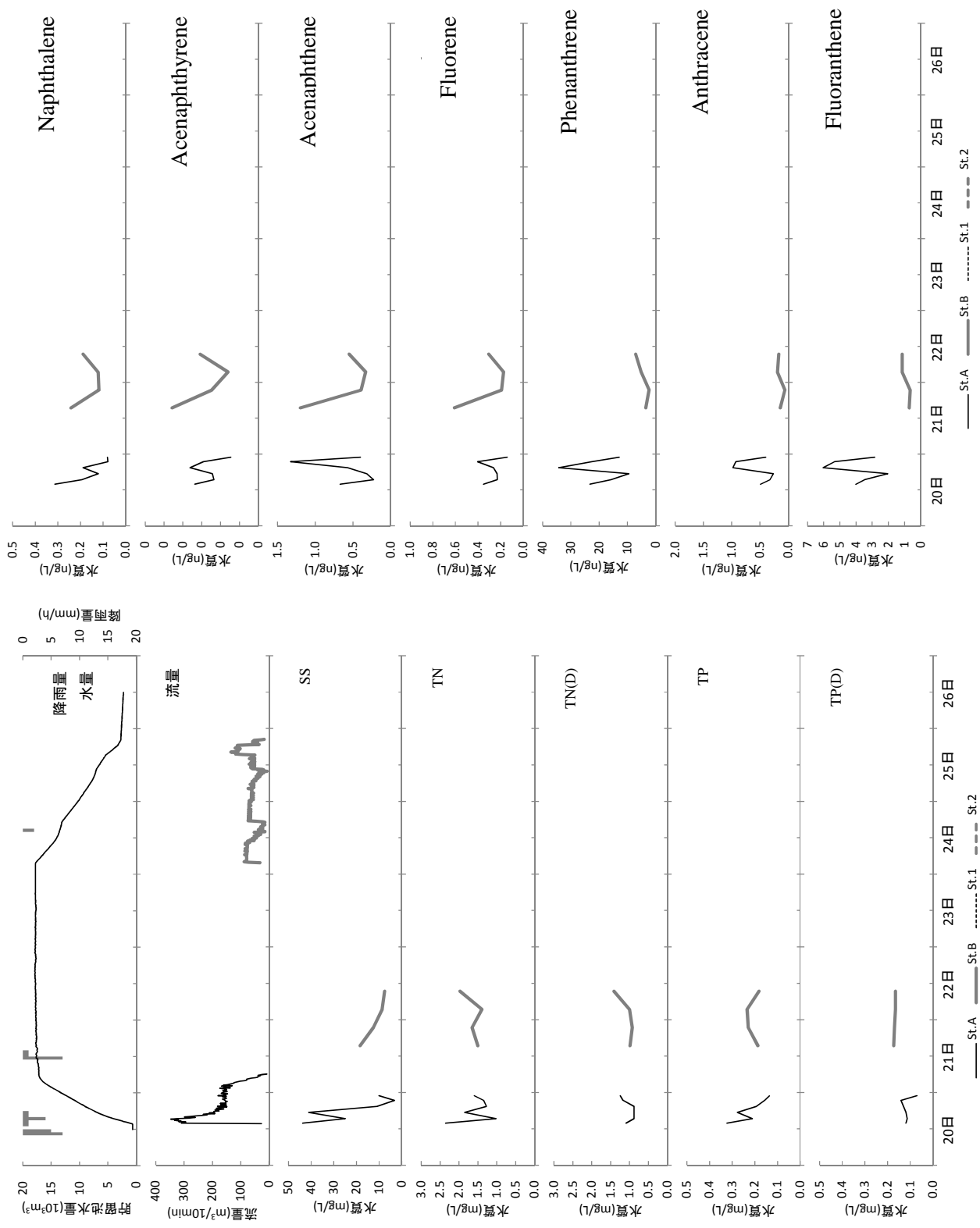


图 3-6-11-1 出水時調査結果 (2012 年 7 月 20 日出水時)

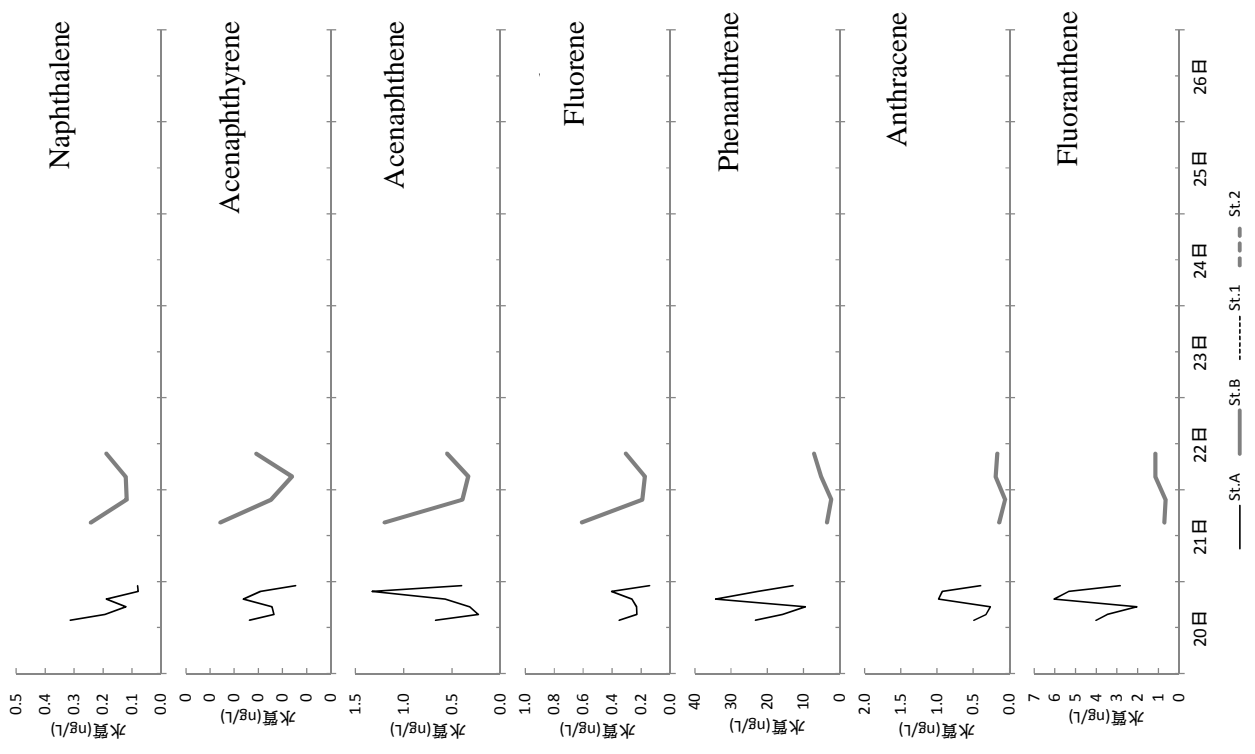


图 3-6-11-2 出水時調査結果 (2012 年 7 月 20 日出水時)

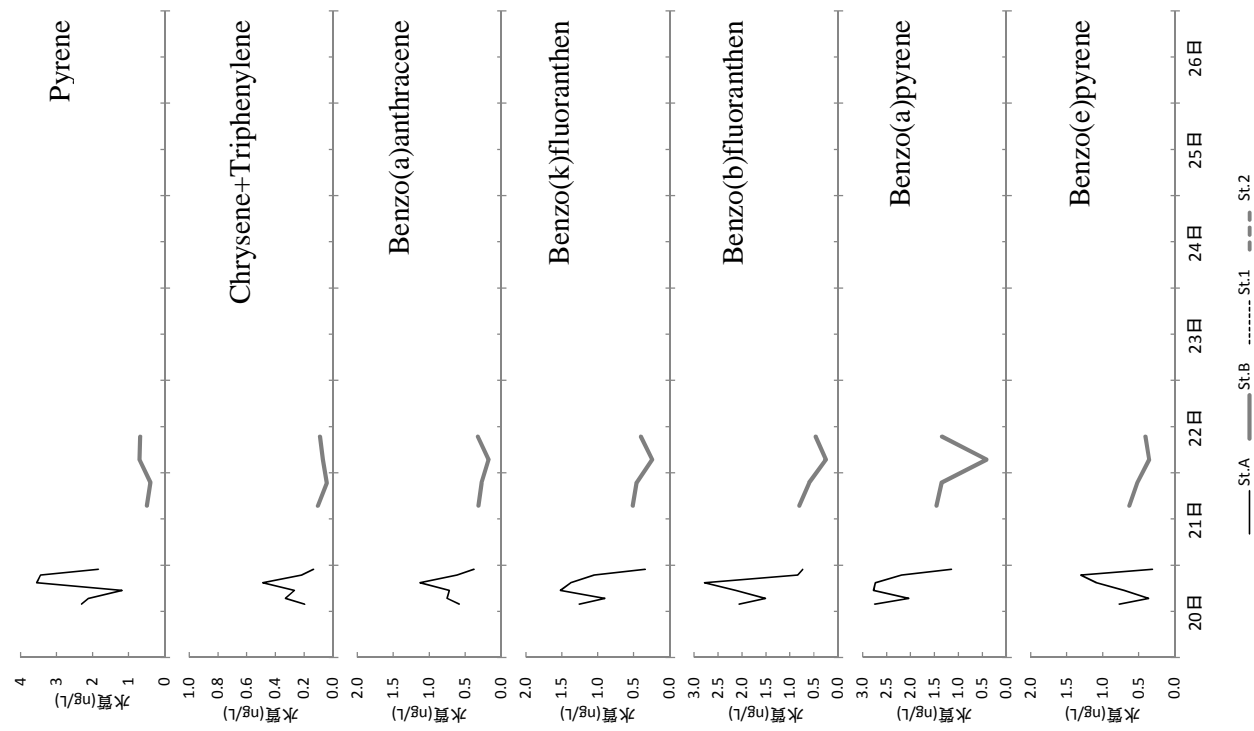


図 3-6-11-3 出水時調査結果 (2012 年 7 月 20 日出水時)

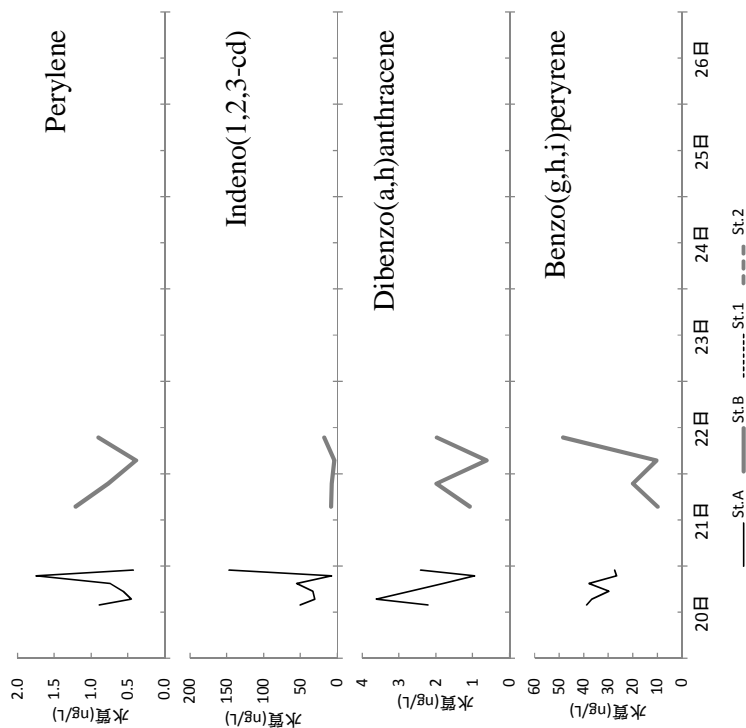


図 3-6-11-4 出水時調査結果 (2012 年 7 月 20 日出水時)

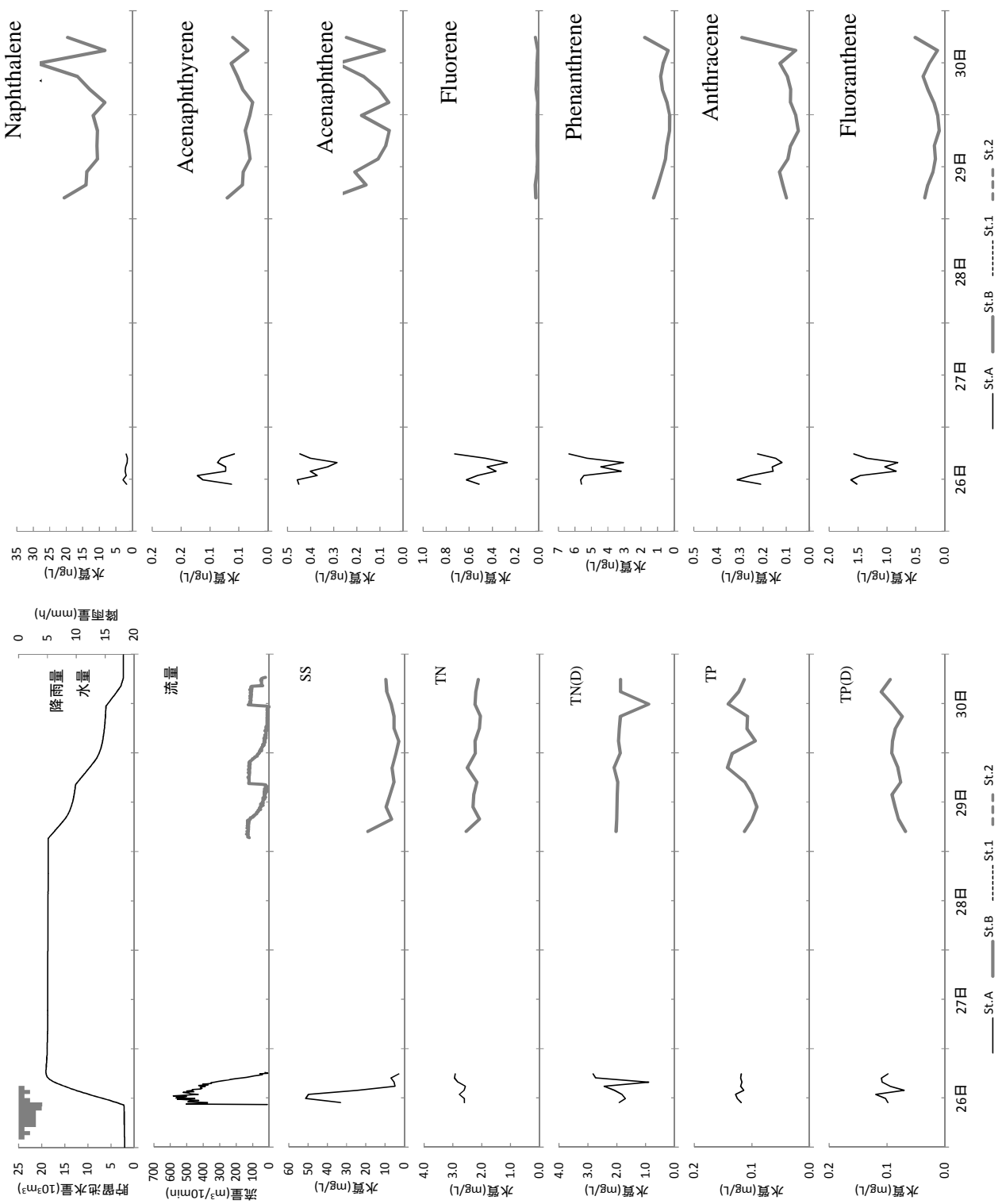


図 3-6-12-1 出水時調査結果 (2012 年 11 月 26 日出水時)

図 3-6-12-2 出水時調査結果 (2012 年 11 月 26 日出水時)



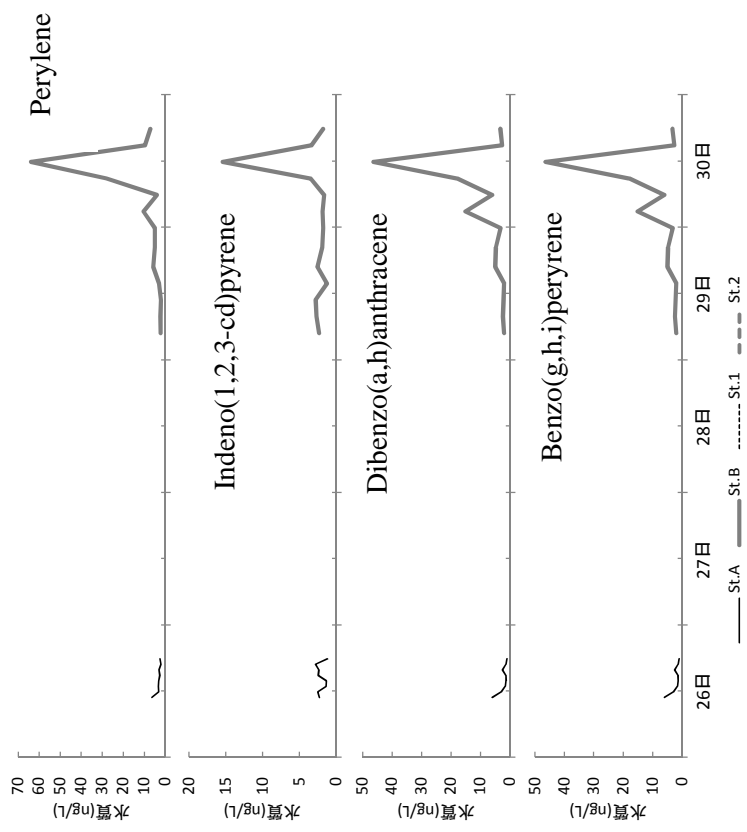


図 3-6-12-3 出水時調査結果 (2012 年 11 月 26 日出水時)

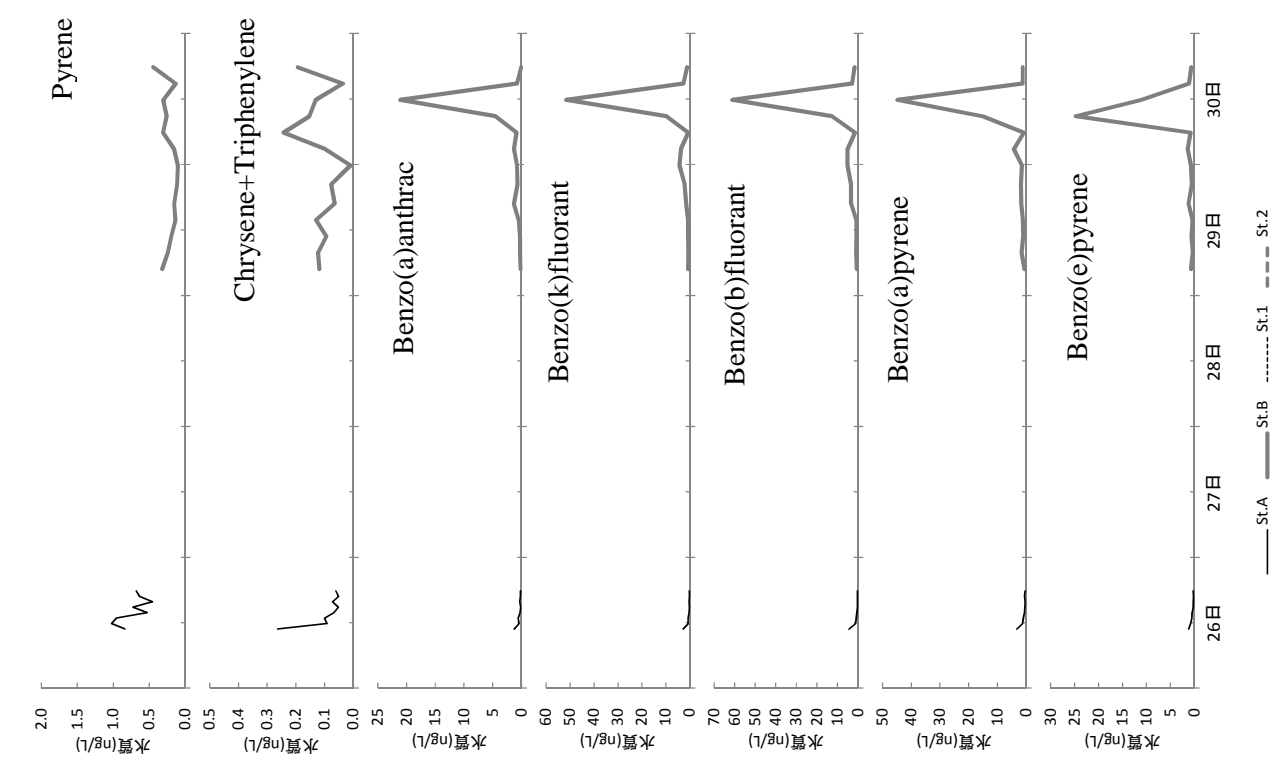


図 3-6-12-4 出水時調査結果 (2012 年 11 月 26 日出水時)

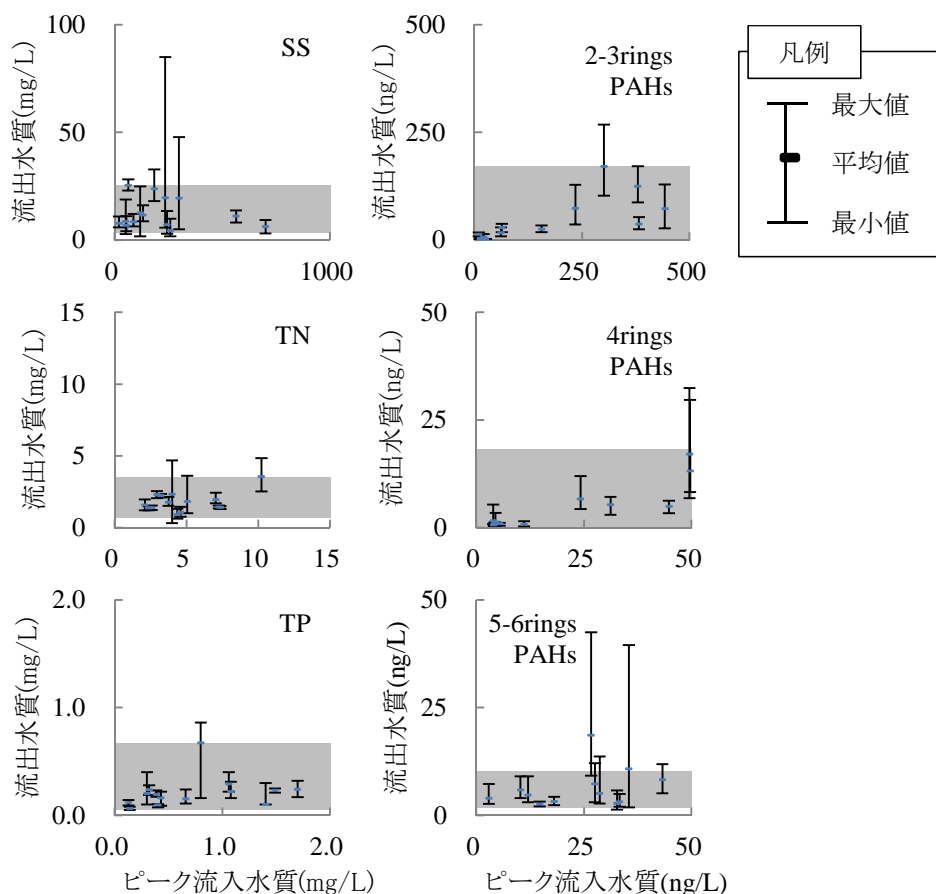


図 3-7 一時貯留池におけるピーク流入水質と流出水質の関係

(網掛け部は各流出水質平均値のとりうる値の範囲)

表 3-6 一時貯留池におけるみかけの除去率 (%)

	水量	SS	TN	TP	2-3rings PAHs	4rings PAHs	5-6rings PAHs
2008/05/20	5.7	98.2	81.2	77.4	83.4	85.0	88.3
2008/05/25	5.2	-	-	-	-	-	-
2008/06/29	6.1	92.4	54.0	51.6	82.4	90.7	91.3
2008/07/08	6.3	94.5	9.6	48.0	-9.7	17.2	54.4
2008/09/26	30.1	87.2	55.6	28.0	63.6	76.6	89.4
2008/10/06	-	-	-	-	-	-	-
2008/10/24	8.1	-	-	-	-	-	-
2009/06/29	23.4	87.2	43.2	64.0	69.9	69.7	54.8
2009/11/14	0.4	30.6	8.4	22.1	21.2	45.4	37.0
2010/05/07	-9.7	71.8	37.0	42.2	39.5	61.9	63.3
2010/05/19	31.3	89.5	58.7	63.0	74.3	72.4	95.9
2010/06/15	25.3	94.5	66.3	67.7	79.1	83.5	86.5
2010/06/23	15.2	82.0	37.9	11.5	90.2	55.2	71.2
2011/07/07	-0.2	85.1	43.4	75.6	49.5	81.4	82.6
2012/07/20	12.1	-	-	-	-	-	-
2012/11/26	3.7	71.1	18.4	6.8			
平均除去率	11.8	87.2	50.3	56.2	66.3	74.9	81.3

除去率 (%) = (総流入量 - 総流出量) / 総流入量 × 100

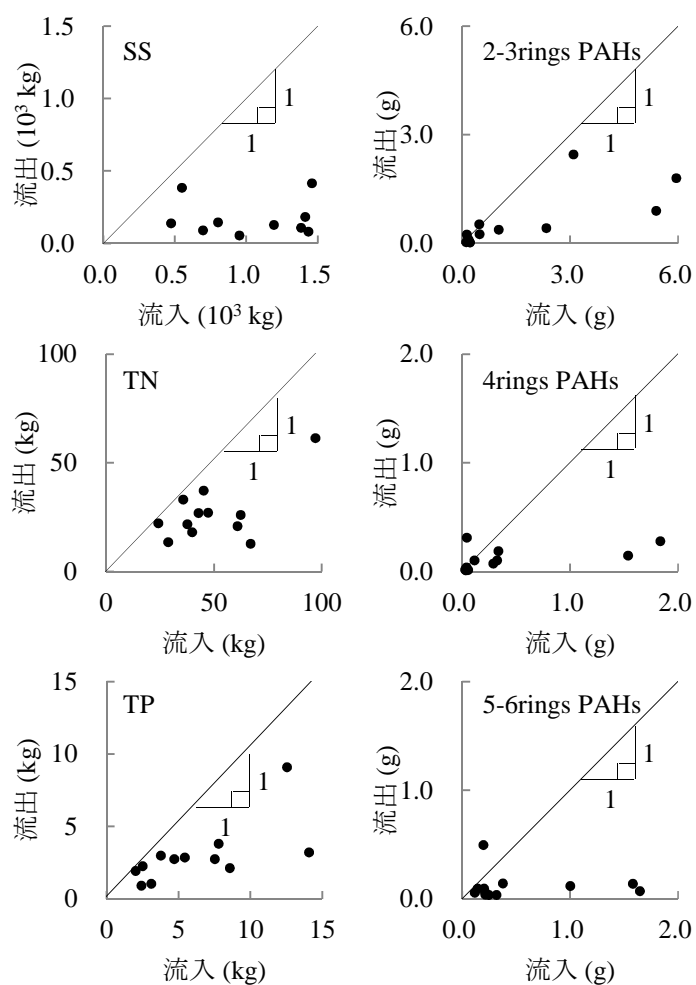


図 3-8 一時貯留池における積算流入負荷量と積算流出負荷量の関係

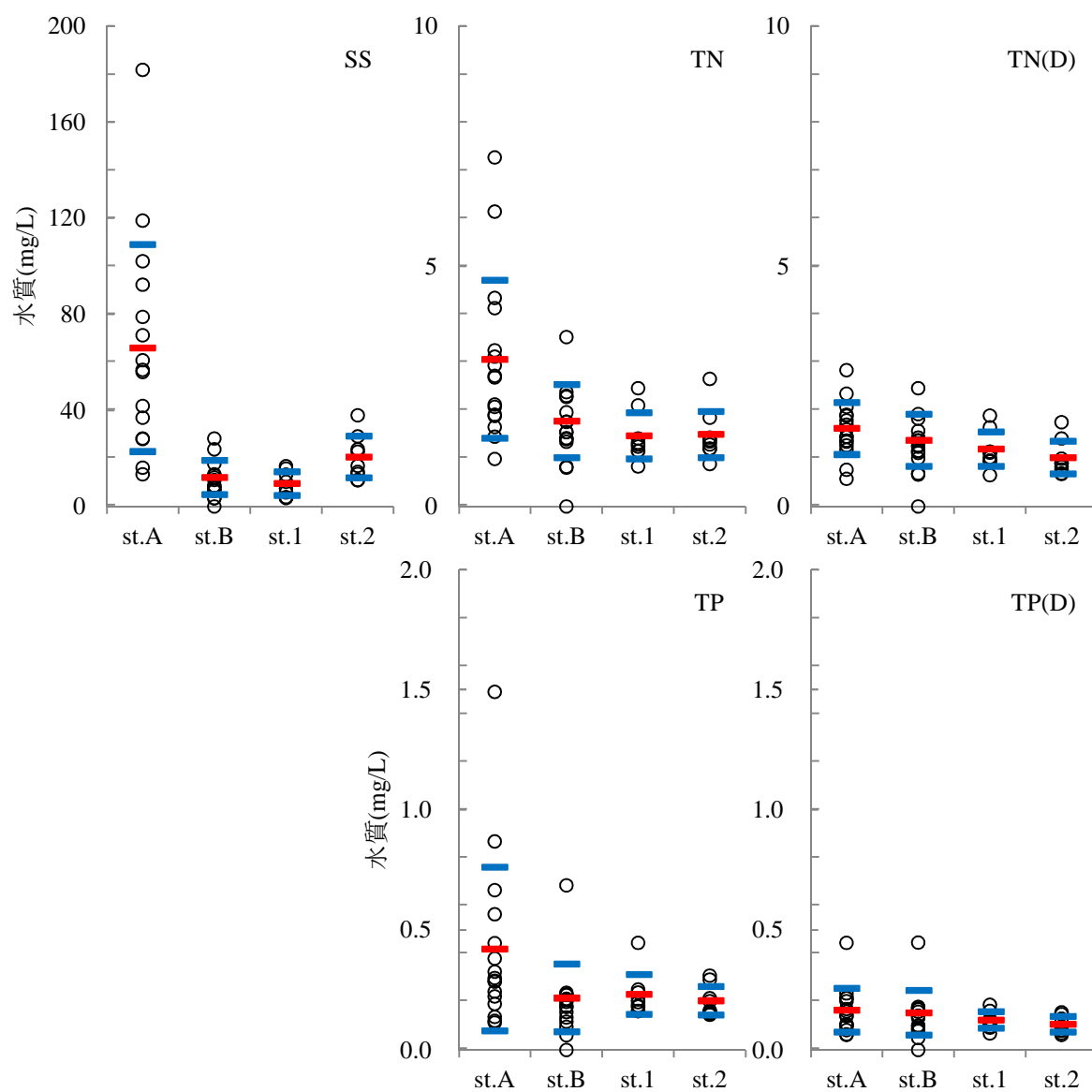


図 3-9-1 出水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値  $\pm \sigma$ )

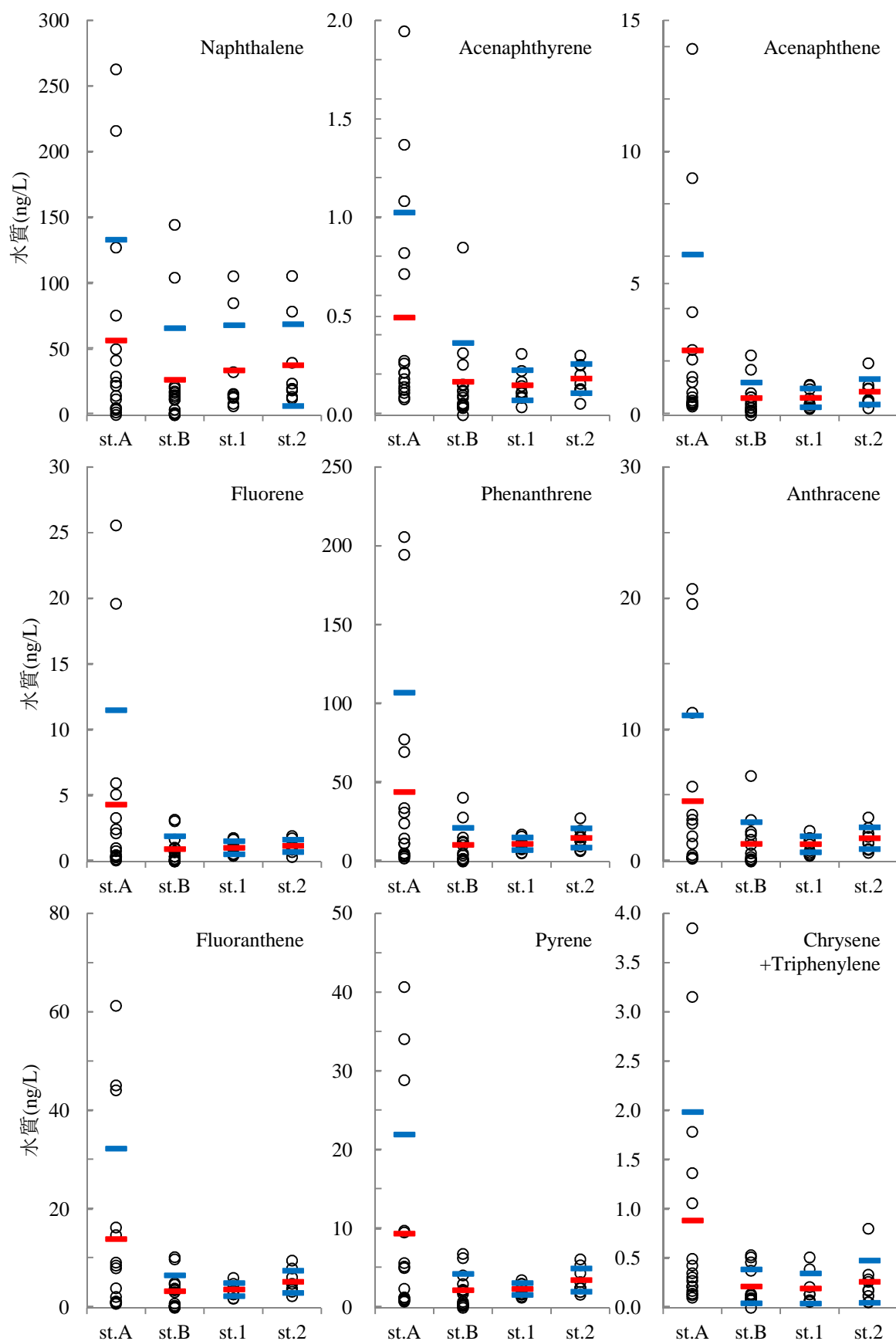


図 3-9-2 出水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値  $\pm \sigma$ )

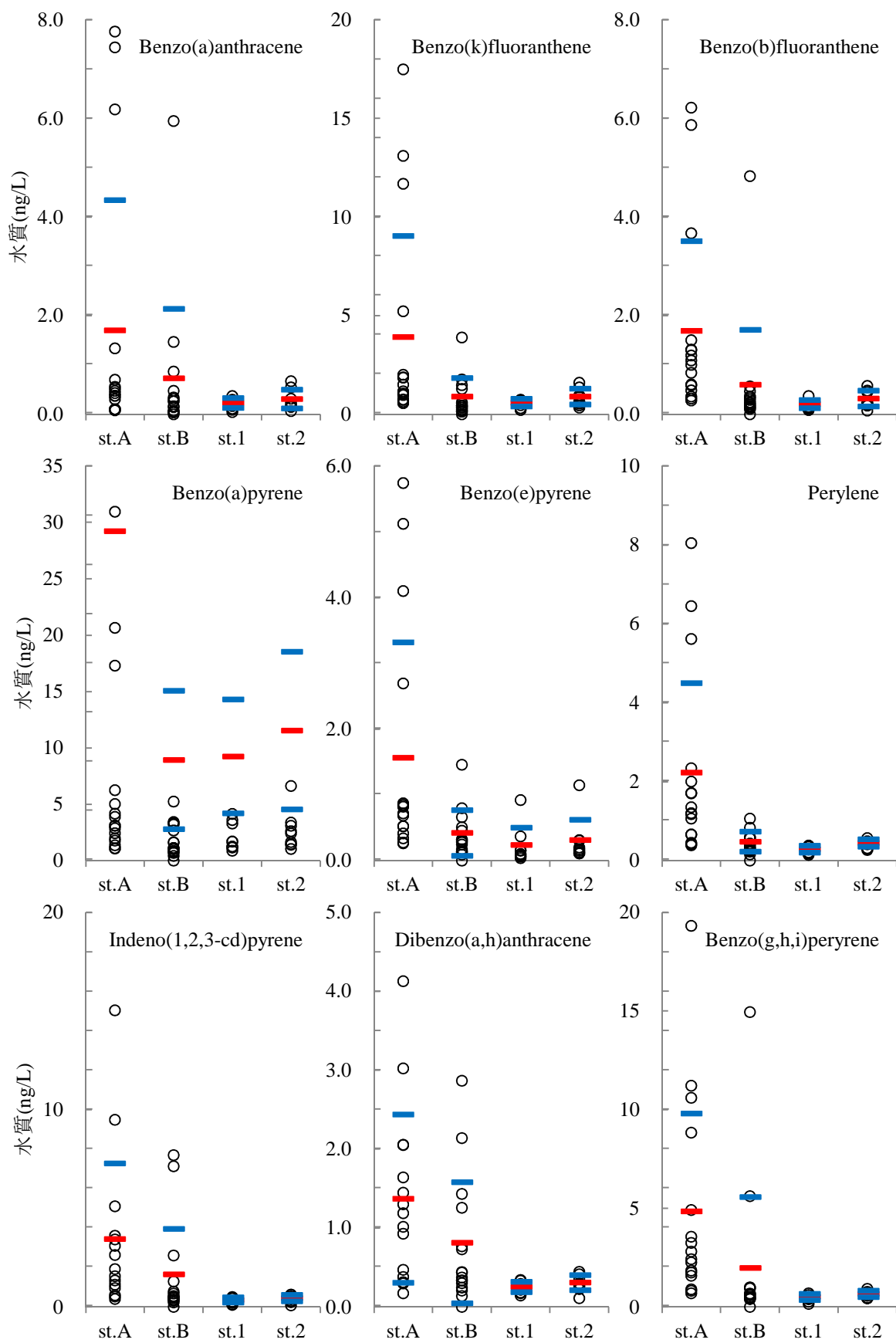


図 3-9-3 出水時調査における各地点の水質比較 (—; 平均値, —; 平均値±σ)

### 3.4.3 年間を通じた汚濁物流出抑制効果

平水時および出水時の調査データから M 川河川浄化施設における年間の流入負荷量および流出負荷量を 1 日単位で算定した。算定フローを図 3-10 に示す。一時貯留池内での計測水位から一時貯留池が稼働したかどうかを判断し、稼働していれば出水時、稼働していなければ平水時とした。出水時には、出水時調査を行っていれば、St.A および St.B に水量と水質の調査結果データを入力した。出水時調査を行っていない場合は、総降雨量の大きさが近似した稼働時の調査データを用いることとした。植生浄化施設での流量および流入水質 (St.1) は St.B と同じとし、植生浄化施設からの流出水質 (St.B) は、St.1 における水質に出水時の植生浄化施設における調査データから求めた St.2/St.1 を乗じて計算した。平水時の場合も、平水時調査を行っている場合には、St.0~St.2 に水量と水質の調査データを入力した。調査データがない場合には直近に実施された平水時調査データを入力した。2010 年について、前処理施設、一時貯留池と植生浄化施設それぞれにて流入・流出負荷量を算出し、整理した結果を図 3-11 に示す。平水時に St.0、出水時に St.A で実測した結果から流入負荷量を算定し、St.B で実測した結果から流出負荷量を算定した。SS, TN, および TP では年間流入負荷量の半分以上を平水時が占めており、特に TP では約 70%を平水時が占めていた。しかし、PAHs では年間流入負荷量のほとんどが出水のものであり、2-3ringsPAHs では約 80%, 4ringsPAHs では約 70%を占めていた。このことからこうした PAHs のような都市由来の汚濁物が降雨によって顕著に掃流されていることが分かる。表 3-7 では、各水質項目について、施設ごとに出水時・平水時別の除去負荷量を算出し、併せて施設全体での総除去負荷量に対する比率も表示している。除去負荷量を出水時・平水時別にみると、大半を出水時が占めており、このうち出水時の植生浄化施設でほとんどの水質項目の除去負荷量が負になっていることを考慮に入れると、こうした出水時の除去負荷量のほとんどが一時貯留池に依存して除去されていることが分かる。SS および TP では植生浄化施設での除去負荷量が平水時・出水時問わず負の値となっており、この 2 つの水質項目においては、植生浄化施設は機能していない。PAHs では、平水時の植生浄化施設で所定の除去負荷量が得られているものの、出水時には、SS 等と同様に除去負荷量が負の値を示す結果となった。これは平水時にいったん沈殿除去されたものの一部が、出水時の流量増加に起因して流出したのではないかと推察される。前処理施設においては、SS や TN では全体の除去率の 50%弱以上を占め除去効果があったが、PAHs では 2-3ringsPAHs を除いて除去量が負の値となった。水質項目すべてで除去効果を発揮していたのは一時貯留池のみであった。また、除去量のほとんどが一時貯留池に依存しており、SS では全体の除去の 70%強に及んだ。こうした懸濁態成分に付随する汚濁物の流出管理には非常に有用に機能することが示されている。

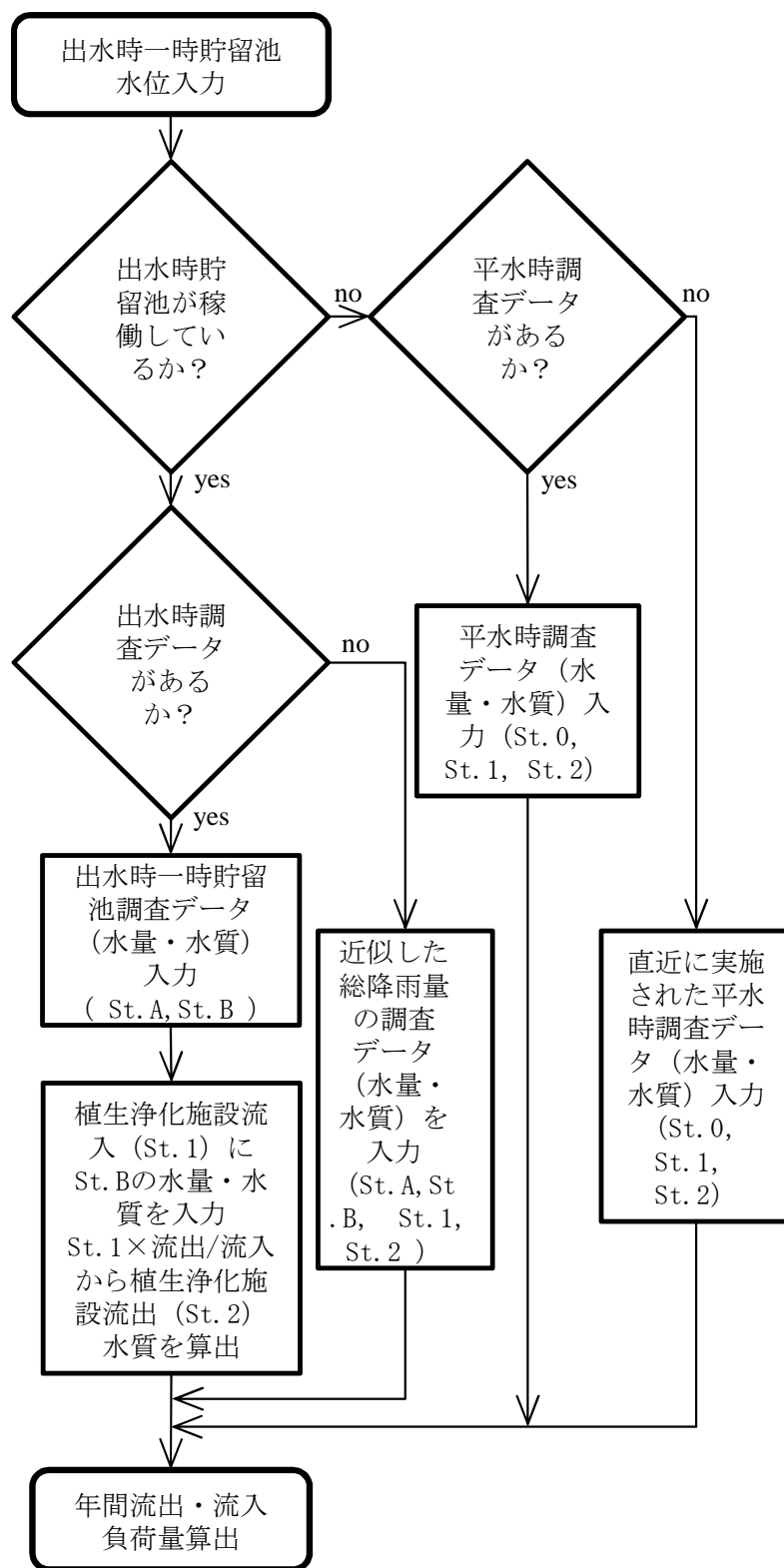


図 3-10 年間流入・流出負荷量算出フロー



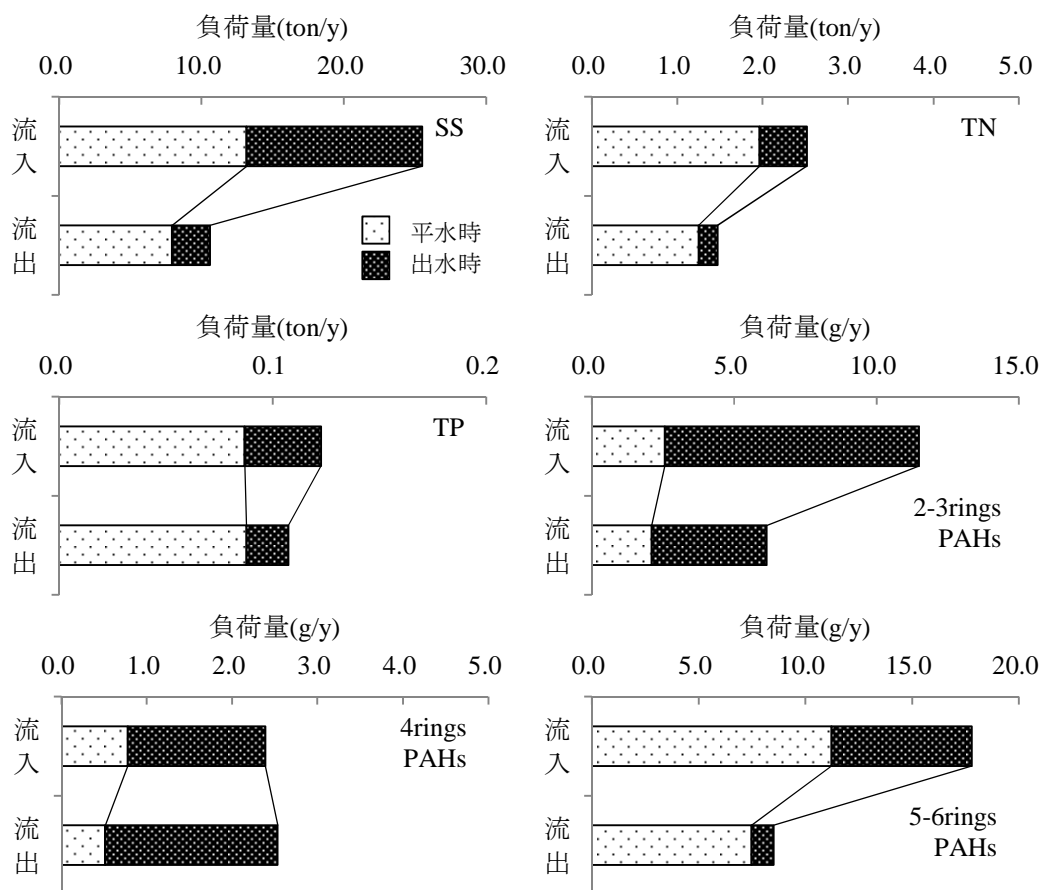


図 3-11 M 川河川浄化施設における平水時・出水時別流入・流出負荷量

表 3-7 M 川河川浄化施設における年間汚濁物除去負荷量の内訳 (2010 年)

区分		SS		TN		TP		2-3rings PAHs		4rings PAHs		5-6rings PAHs	
		ton	%	ton	%	kg	%	g	%	g	%	g	%
平水時	前処理施設	8.4	58.3	0.48	48.5	2.4	16.3	0.02	0.4	-0.34	220.9	-54.6	-594.0
	植生浄化施設	-3.2	-22.1	0.23	23.1	-3.1	-21.7	0.44	8.7	0.60	-394.4	58.4	634.8
	計	5.2	36.2	0.71	71.6	-0.8	-5.4	0.47	9.1	0.26	-173.5	3.7	40.8
出水時	一時貯留池	10.7	74.2	0.26	25.9	16.1	111.1	5.96	116.4	0.04	-26.8	5.8	63.0
	植生浄化施設	-1.5	-10.4	0.03	2.6	-0.8	-5.7	-1.31	-25.5	-0.46	300.4	-0.3	-3.8
	計	9.2	63.8	0.28	28.4	15.2	105.4	4.65	90.9	-0.42	273.5	5.4	59.2
総計		14.5	100.0	0.99	100.0	14.5	100.0	5.12	100.0	-0.15	100.0	9.2	100.0

### 3.5 まとめ

M 川河川浄化施設の平水時・出水時の汚濁物の負荷量収支について調査した。以下に結果をまとめる。

- ① 平水時では、前処理施設・植生浄化施設では水質を明確に低減させるとはいえないものの、下げ得ることが示唆された。
- ② 出水時一時貯留池ではどの水質項目も、おおむね流出負荷量を一定にして排出していた。しかし、流入負荷量が多い場合にはあまり変化せずに流出させてしまう可能性がある。
- ③ 出水時における植生浄化施設では滞留時間が非常に短くなってしまうため流入したものがほぼそのまま流出していた。
- ④ 年間の流入負荷量ではSS,TN,TPでは平水時が大部分を占めたが、5-6ringsPAHsを除くPAHsでは出水時が大部分を占めた。
- ⑤ 除去量のほとんどが一時貯留池に依存しており、SSでは全体の除去負荷量の7割強に及んだ。

## 参考文献

- 1) 和波一夫, 嶋津暉之: 都市河川の雨天時汚濁の実態, 水環境学会誌, 25(9), pp.529-532, 2002.
- 2) Ichiki, A., Nagata, Y., Naruse, T. and Ido, F.: CharacteriStics of Highway Pollutants around heir 4) Source and in Runoff Process - A Case Study around Meishin Expressway, Japan, CD Proceedings of 8th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution, pp.119-124, 2004.
- 3) Sartor, J. D., Boyd, G. B. and Agardy, F. J. : Water pollution aspects of Street surface contaminations, Water Pollution Control Federation , 46(3), pp.458-467, 1974.
- 4) Ichiki A., Yamada K., and Onishi T. : Prediction of runoff pollutant load considering characteriStics of river basin, Water Science and Technology, 33(4-5), pp.117-126, 1996.
- 5) 環境省: 環境白書, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/index.html>, 2011 (2012/6/27 確認).
- 6) 浅田素之, 大垣眞一郎: 都市域における降雨初期雨水排水中のベンゾ(a)ピレンの挙動, 水環境学会誌, 19(11), pp.904-909, 1996.
- 7) California Environmental Protection Agency Air Resources Board : For the proposed Identification of Diesel ExhauSt as a Toxic Contaminant , California Environment Protection Agency, 1998.
- 8) 三浦浩之, 和田安彦, 尾崎平, 中嶋宜信: 雨天時道路排水の流出先水系での汚濁物質の挙動, 用水と廃水, 45(8), pp.779-785, 2003.
- 9) Murakami, M., Nakajima, F. and Furumai, H. : Modelling of Runoff Behaviour of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Roads and Roofs, Water Research, 20(38), pp.4475-4483, 2004.
- 10) 榊谷啓介, 市木敦之, 山田淳: 雨水滞水池における汚濁物流出抑制効果の検討, 環境システム研究, 22, pp.231-236, 1994
- 11) 市木敦之, 山田淳: 粒度特性を考慮した非特定汚濁物の流出管理に関する研究-雨水滞水池を対象として-, 環境システム研究, 21, pp.436-444, 1993
- 12) 武田育郎, 國松孝男, 小林慎太郎, 丸山利輔: 水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷ー水田群からの汚濁負荷流出に関する研究(Ⅱ)-, 農業土木学会論文集, 153, PP.63-72, 1991
- 13) 宇土顕彦, 竺文彦, 大久保卓也, 中村正久: 灌漑期の水田における水量収支と栄養塩収支, 水環境学会誌, 23 (5), PP.298-304, 2000
- 14) 園田敬太郎, 徳田裕二, 岡本佐知子, 田中靖志, 北野亮, 大橋恭一: 水田群からの栄養塩類発生負荷量調査(第 1 報) 水稻作付期間の水田群栄養塩類発生負荷量について, 滋賀県農業試験場研究報告, 38, PP.57-65, 1997
- 15) 滋賀県: マザーレイク 21 計画, <http://www.pref.shiga.jp/biwako/koai/mother21/top.html>, 2000 (2012/6/27 確認).
- 16) USEPA OPPTS Harmonized TeSt Guidelines. , [http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publicationSteSt\\_Guidelines/series850.htm](http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publicationSteSt_Guidelines/series850.htm). (2012/6/27 確認)

## 第4章 流域からの汚濁物流出管理手法に関する数値シミュレーション

### 4.1 緒言

琵琶湖は日本で最も大きな湖であり、近畿圏の1,400万人がこれを飲用水源として使用している。琵琶湖へは100以上の河川が流入しており、これらの流入成分は琵琶湖の水質に影響を及ぼしている。こうした受水域では、流域における下水道の整備進捗とともに、特にノンポイントソースからの汚濁物を含む降雨時流出負荷の影響が顕在化しつつある。このようなノンポイントソースからの汚濁物の流出挙動については多くの先行研究<sup>1)</sup>が行われ、そうした流出特性のモデル化<sup>2)</sup>も行われている。都市域では、近年、変異原性や内分泌かく乱作用を有し、難分解性で生体内に蓄積されることが懸念される多環芳香族炭化水素類（以下、PAHs）や重金属類といった微量有害物質について議論されているもの<sup>3)</sup>が多い。たとえば、都市交通に由来する微量有害物質として、PAHsの流出挙動についての調査<sup>4)</sup>が行われている。しかしながら、そうした微量有害物質の削減を意図した流出管理に関する研究はほとんどない。滋賀県では、2000年に琵琶湖集水域の総合管理のために琵琶湖総合保全整備計画（マザーレイク21計画）<sup>5)</sup>を策定した。この計画により、琵琶湖沿岸にはいくつかの流入水処理施設が設けられている。その一つとして建設されたM川河川浄化施設は、流入河川水中の汚濁物を貯留沈殿と植生浄化を組み合わせることで除去する意図で運転されている。筆者らのこれまでの調査研究により、このうち貯留沈殿が行われる出水時一時貯留池が、汚濁物の除去に対して比較的有効に機能していることがわかりつつある<sup>7)</sup>。本報告は、実施設を事例として、汚濁物の挙動についてモデル化を行い、流出抑制効果について数値シミュレーション解析を行うものである。

### 4.2 データの概要

この章にて使用するデータは、3章流域からの流出と流末施設での流出管理にて採取したデータを使用している。そのため、採取したデータは、M川河川浄化施設（図4-1）の一時貯留池にて採取したデータとなる。

### 4.3 数値シミュレーションモデルの構築

#### 4.3.1 シミュレーションのフロー

M川および一時貯留池内の水量と水質の時々刻々の変化を、モデルを用いたシミュレーションによって再現し、一時貯留池における年間を通じた汚濁物の削減効果について議論する。シミュレーションでは、2010年1月1日から2010年12月31日の1年間を対象として、図4-2のフローにより解析を行った。まず、タンクモデルを用いてM川流量および一時貯留池における流入水量と流出水量を算定し（水量シミュレーションモデル）、ついで、算定されたM川流量を用いてL-Q式によりM川流域から流出する汚濁負荷量を求め、M川の負荷量とした（負荷量シミュレーションモデル）。こうして算出されたM川の負荷量と流量からM川の河川水質を算定し、これより一時貯留池内へ流入した水質を求めた。そして、算定された一時貯留池への流入水質をもとに、沈殿モデルにより一時貯留池内の水質変化と、最終的に一時貯留池から排出される流出水質を算定した（沈降除去シミュレーションモデル）。

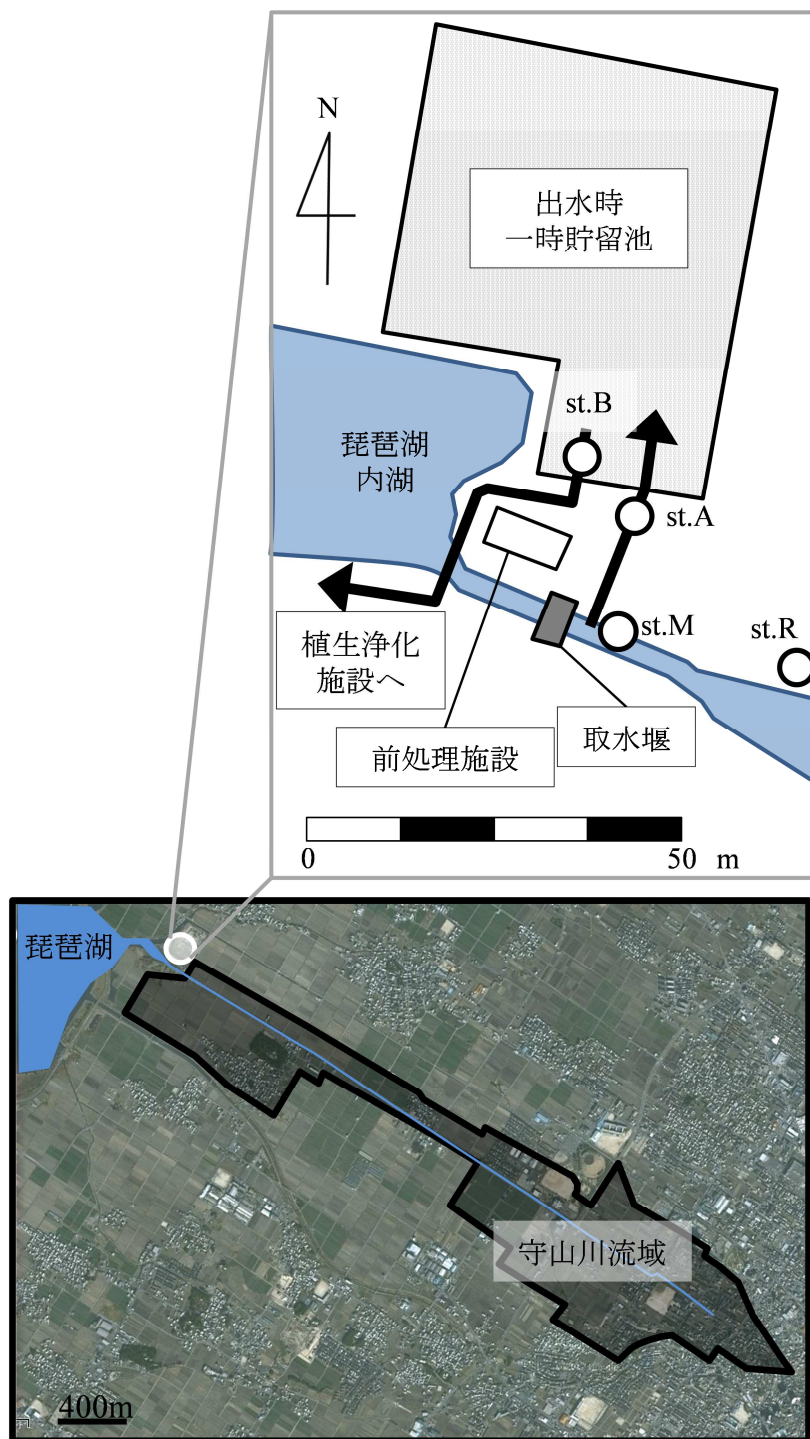


図 4-1 M 川流域と M 川河川浄化施設の概要

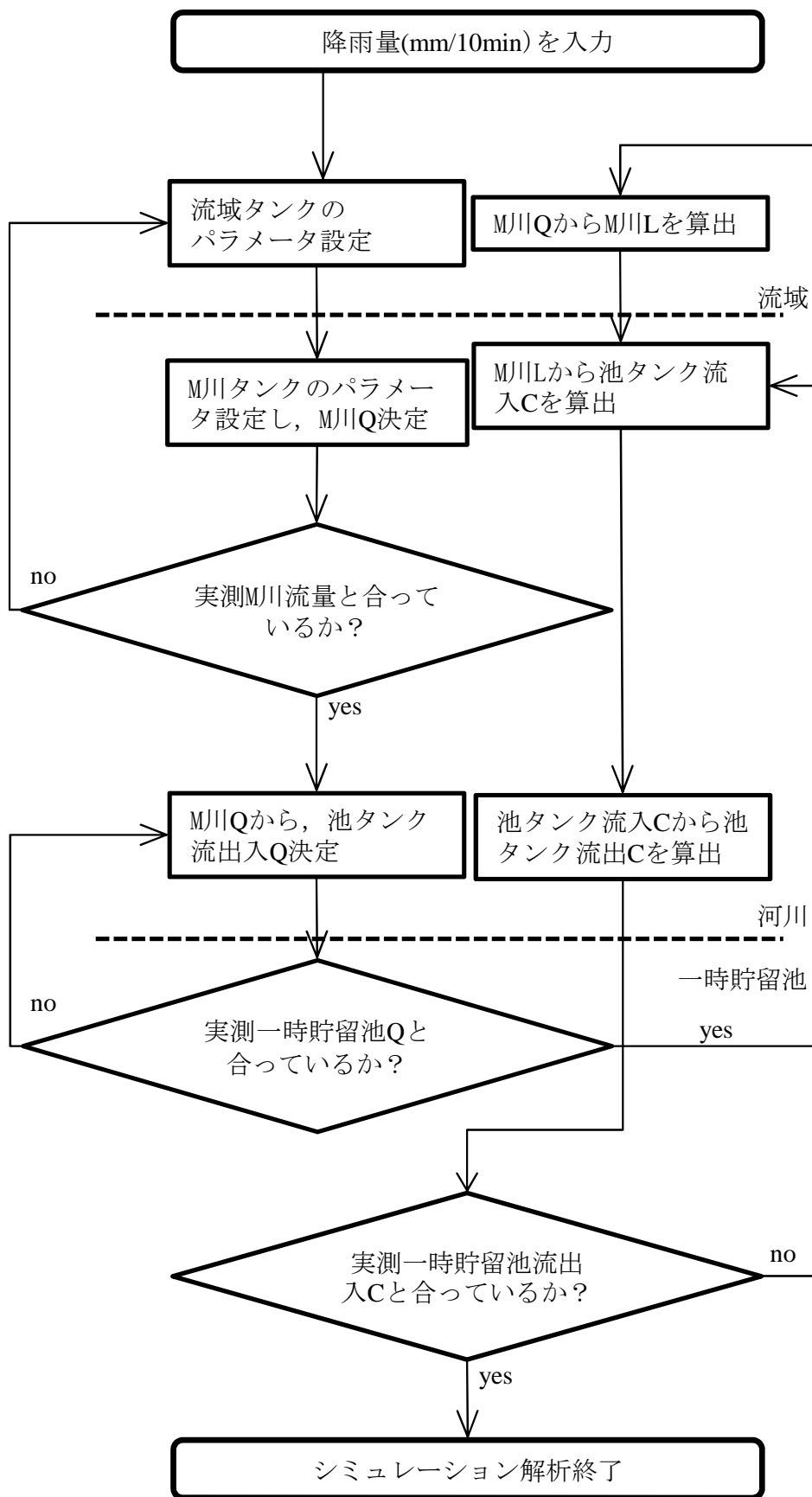


図 4-2 シミュレーションの解析フロー

#### 4.3.2 水量シミュレーションモデル

##### (1) 流域

水量の流出モデルとしてタンクモデル（図 4-3）を用いた。M 川流域を直列 3 段のタンクに見立て、最上段の流域タンク 1 に降雨を 10 分単位で入力した。対象とした 2010 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日の間の年降水量は 1492.6mm/y であった。また、2009 年 11 月 1 日～2009 年 12 月 31 日を計算の予備期間として設けている。入力された降雨は、縦方向への浸透分は下段のタンクへ順次供給し、横方向への流出分の合計（ $Q_r$ ）は河川タンクへと移行するものとした。流域タンクにおける流出量の計算は以下の連続式（1）を用いて計算した。

$$\begin{array}{lcl}
 t = i & y_i = \alpha (x_i - h) & \\
 & z_i = \beta \times x_i & \\
 & x_i' = x_i - y_i - z_i & \\
 \hline
 t = i+1 & x_{i+1} = x_i' + R_{i+1} & \dots \dots (1) \\
 & y_{i+1} = \alpha (x_{i+1} - h) & \\
 & z_{i+1} = \beta \times x_{i+1} & \\
 \hline
 & x_{i+1} = x_i + R_{i+1} - y_i - z_i & 
 \end{array}$$

このとき、 $x$  : タンク内貯留量(mm),  $x'$  : タンク内残存量(mm),  $y$  : 横方向流出量(mm),  $z$  : 縦方向流出量(mm),  $h$  : 流出孔高(mm),  $\alpha$  : 流出係数(-),  $\beta$  : 浸透係数(-)である。蒸発散と地下浸透は、併せて流域タンク 3 の  $Z_3$  から、一連の流出系の外へ出ていくものとした。

##### (2) 河川

流域タンクの横方向の流出分（ $Y_{11}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ）の合計（ $Q_r$ ）が河川タンクへと 10 分毎に流入する。河川タンクからの流出は、琵琶湖か一時貯留池タンクへ流出するものとし、常時は河川タンクの横方向から取水堰（ $h_m$ , 表 4-1）オーバーフロー分が琵琶湖へと流出する。時間降雨量 5mm/h かつ M 川濁度が 20 度を満たすと一時貯留池タンクへ流出を開始し、流入停止は実際に一時貯留池が流入を停止する条件と同じ①一時貯留池タンクが満水となる、②河川タンクと一時貯留池タンクの水位が平衡となる、③M 川濁度が条件未満となる、のいずれかを満たすと河川タンクからの流出を停止する。また、河川タンクの水量が非常に大きく、 $h_m$  の倒伏条件（表 4-1）を満たした場合には、 $h_m$  は 0 となり、表 4-2 の設定琵琶湖水位まで貯留高を下げる。河川タンクにおける流出量の計算は以下の式（2）を用いた。

$$\begin{array}{lcl}
 t = i & y_i = \alpha (x_i - h_m) & \\
 & z_i = \beta \times x_i & \\
 & x_i' = x_i - y_i - z_i & \\
 \hline
 t = i+1 & x_{i+1} = x_i' + Q_{r_{i+1}} & \dots \dots (2) \\
 & y_{i+1} = \alpha (x_{i+1} - h_m) & \\
 & z_{i+1} = \beta \times x_{i+1} & \\
 \hline
 & x_{i+1} = x_i + Q_{r_{i+1}} - y_i - z_i & 
 \end{array}$$

このとき、 $x$  : タンク内貯留量(mm),  $x'$  : タンク内残存量(mm),  $y$  : 横方向流出量(mm),  $z$  : 縦方向流出量(mm),  $h_m$  : 取水堰高(mm),  $\alpha$  : 流出係数(-),  $\beta$  : 浸透係数(-)である。

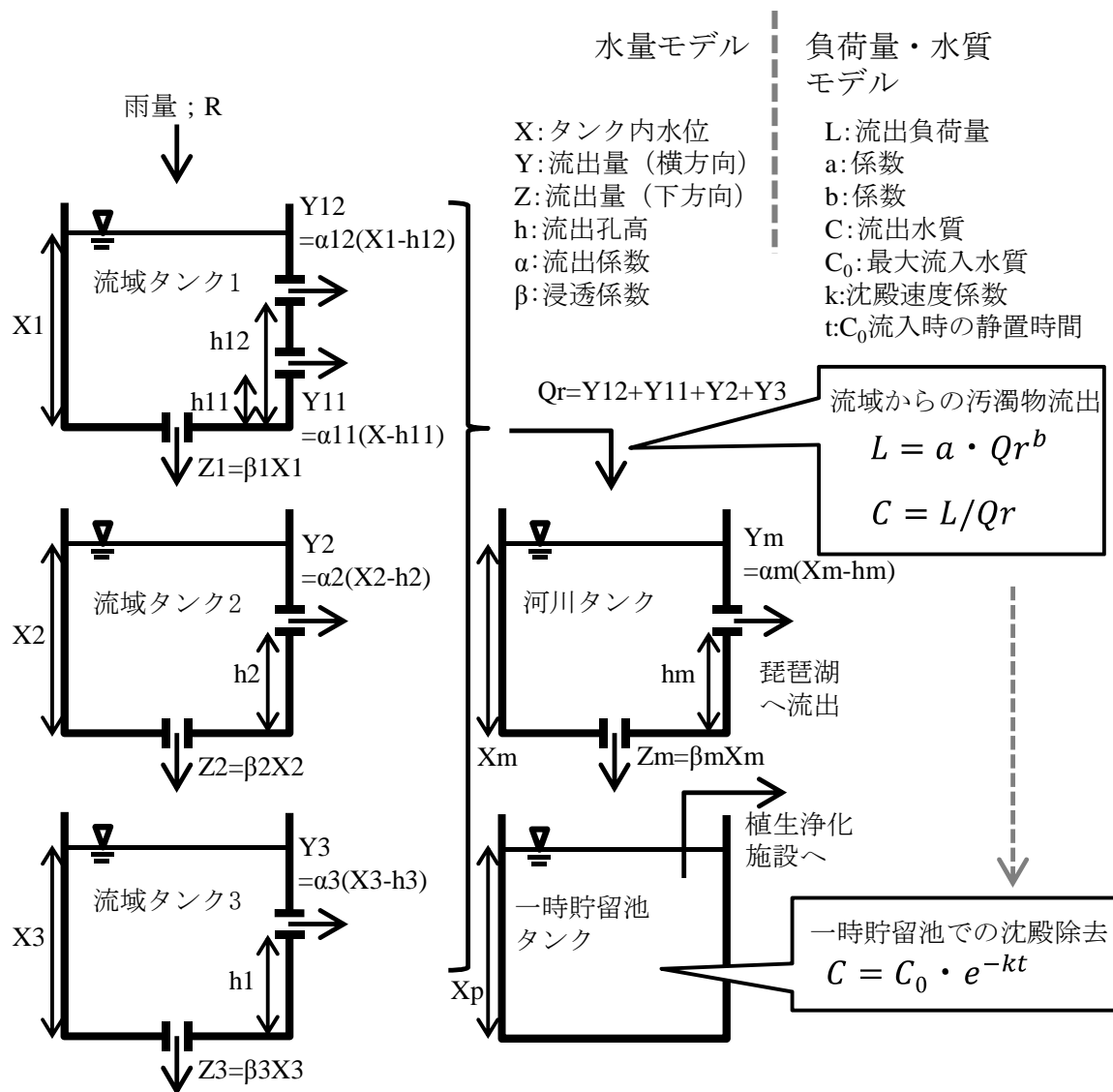


図 4-3 タンクモデルの概要

表 4-1 取水堰高とその倒伏条件

	hm高	倒伏条件
4/26-6/15	0.058	0.087
上記以外	0.087	0.106

表 4-2 設定琵琶湖水位

月	琵琶湖水位
1	0.026
2	0.036
3	0.045
4	0.055
5	0.084
6	0.084
7	0.036
8	0.036
9	0.026
10	0.026
11	0.026
12	0.026



### (3) 一時貯留池

一時貯留池タンクへの流入条件（時間降雨 5mm/h, M 川濁度 20 度）を満たすと、河川タンクから流入される。M 川から水が流入する際には、すでに流入した水から、一時貯留池水位に応じて抵抗  $F$  を受けると考え、以下の式 (5-3) から抵抗を計算し、一時貯留池流入量から減じることとした (図 4-4)。

$$\begin{aligned} X_p \text{ が } 2.15 \text{ 以上の場合, } F &= k(X_p - 2.15) \\ X_p \text{ が } 2.15 \text{ 未満の場合, } F &= 0 \end{aligned} \quad \dots (3)$$

このとき、 $X_p$ ：一時貯留池タンク水位(m)、 $F$ ：一時貯留池内の水から受ける抵抗 (m)、 $k$ ：抵抗係数 (-) である。流入停止は前述したとおり、①一時貯留池タンクが満水となる、②河川タンクと一時貯留池タンクの水位が平衡となる、③M 川濁度が条件未満となる、のいずれかを満たすと河川タンクからの流出を停止する。①は一時貯留池における計画高水位である 3.0m となった場合を示し、②は図 4-4 の通り M 川と一時貯留池には 2.15m の高さのギャップがあったため、河川タンク貯留高に 2.15 を加えた値と一時貯留池タンク貯留高とが同じであった場合を示す。一時貯留池タンクからの流出は、実施設と同様に、河川タンクからの流入が停止してから 12 時間後に開始され、一時貯留池タンクの貯留水位が 0.4m を下回るまで継続するよう設定した。一時貯留池タンクからの流出は、図 4-5 のゲートを用い、一時貯留池タンクの貯留水位に応じて流出させた。このゲートは、一時貯留池タンクの貯留水位の低下により、3 つのゲートが上部から順番に開いていく。ゲートは表 4-3 の通りにゲートの開条件を実際の一時貯留池に則して設定した。排出水量は以下の式の通りに計算した。

$$\begin{aligned} G_{op,i} > X_p > G_{up,i} : Q_{out} &= c(X_p - G_{up,i}) + d \\ G_{up,i} > X_p > G_{down,i} : Q_{out} &= a(X_p - G_{down,i})^b \end{aligned} \quad \dots (4)$$

このとき、 $Q_{out}$ ：排出水量、 $G$ ：排出ゲート高、添え字の  $op$ ：ゲート開条件、 $up$ ：ゲート上端、 $down$ ：ゲート下端、 $i$ ：ゲート番号を示している。

以上から、まず M 川流量において、2011 年 1 月 1 日から 2 月 28 日の間に積算流量、ベースフロー、ピークの順に試行計算を繰り返し、流域タンクのパラメータを決定した。次に、一時貯留池内水位の実測値をもとにして、流域タンクと同様にまず積算流量が合致するよう調整し、その次にベースフローやピークが合うように計算を繰り返して決定した。決定したパラメータは表 4-4 に示す通りとなった。

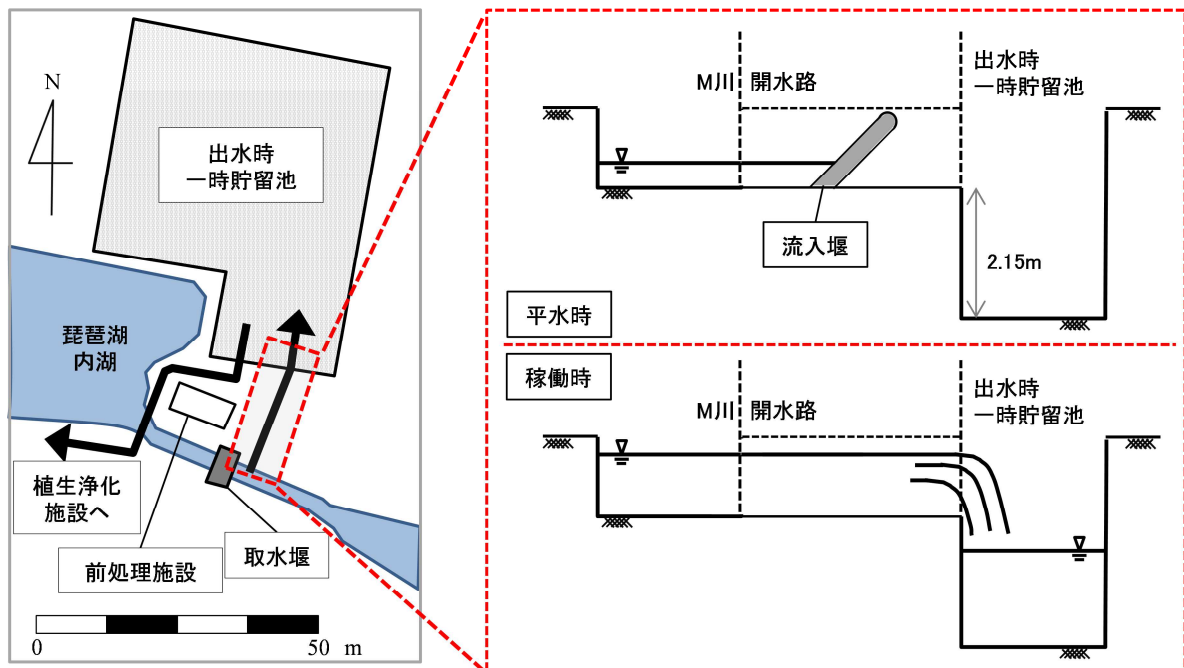


図 4-4 M 川と出水時一時貯留池の横断面

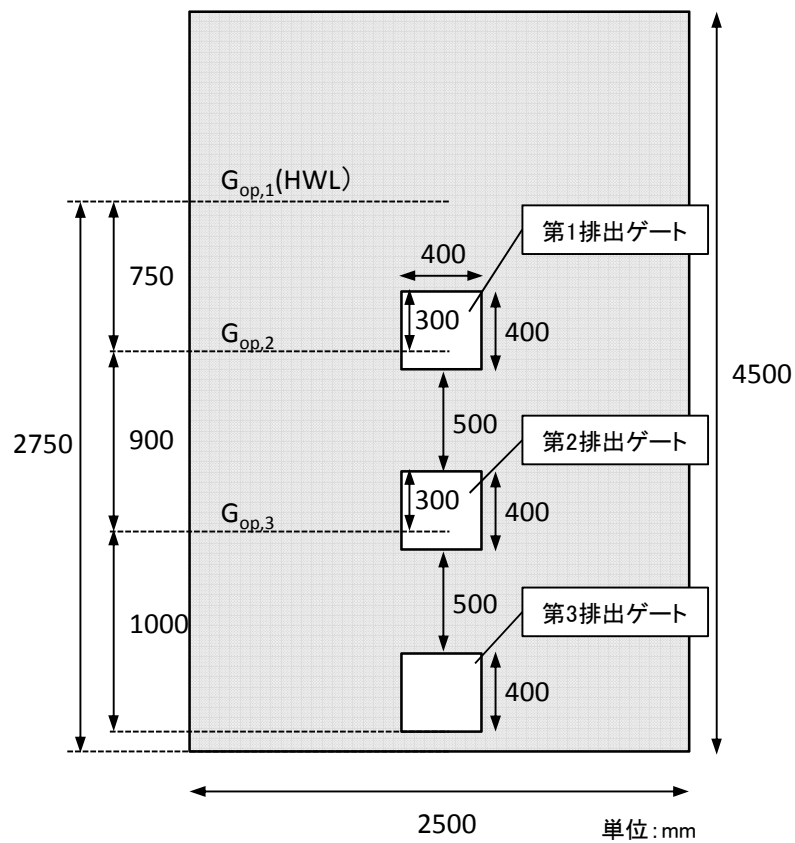


図 4-5 排出ゲートの模式図

表 4-3 排出ゲート高と係数

	ゲート高			係数			
	$G_{op}$ (m)	$G_{up}$ (m)	$G_{down}$ (m)	c (-)	d (-)	a (-)	b (-)
第1ゲート	2.75	2.30	1.90	13.0	94.0	450.0	1.7
第2ゲート	2.00	1.40	1.00	11.0	103.0	450.0	1.7
第3ゲート	1.10	0.50	0.10	19.0	97.0	450.0	1.7

表 4-4 流域・河川タンクモデルのパラメータ

	流出孔高		流出係数 (横方向)		流出係数 (下方向)	
	(mm)		(-)		(-)	
流域タンク	h12	3.0	$\alpha_{12}$	0.10	$\beta_1$	0.50
	h11	0.5	$\alpha_{11}$	0.085		
	h2	0.5	$\alpha_2$	0.005	$\beta_2$	0.20
	h3	0.5	$\alpha_3$	0.0005	$\beta_3$	0.001
河川タンク	hm	0.13	$\alpha_m$	0.40	$\beta_m$	0.80

#### 4.3.3 流域からの流出負荷量シミュレーションモデル

流域から流出してくる負荷量は、河川流量に応じて定まるものとして、L-Q 式 (5) により算定した。

$$L = a \cdot Qr^b \quad \dots (5)$$

ここに、L：河川負荷量 (kg/10min)、Qr：水量シミュレーションモデルで算定した河川流量 (m<sup>3</sup>/10min)、a は係数、b は指数である。ただし、河川流量と水質の実測が必ずしも同期していないため、水量シミュレーションモデルで算定した M 川の流量 Qr と、3 章の出水時調査において実測した一時貯留池への流入水質 Cs から河川負荷量 L を下式 (6) の通り求めた (表 4-5)。ここでは、2010 年の 4 調査分のデータを使用した。  $\dots (6)$

$$L = Cs \cdot Qr$$

L：河川負荷量 (kg/10min)、Qr：河川流量 (m<sup>3</sup>/10min)、Cs：実測水質 (mg/L) である。M 川の負荷量 L と Qr の関係は図 4-6 に示す。いずれの水質項目についても、流量の増加に応じた負荷量の増加が認められる。両者について、L-Q 式により回帰分析を行い、水質項目ごとに係数 a と指数 b を求めた結果を表 4-6 に示す。SS、PN や PP では、係数 b の値が他の水質項目と比べ比較的高く 1.2 前後となっていた。これは流量の増加に応じて粒子が掃流されているためと考えられる。しかし、決定係数を見ると 0.34 から 0.44 であったため、あまり結果は良好とは言えなかった。一方で溶存態の物質を見ると DN と DP で決定係数が 0.65 程度となっていた。係数 b が 1 を大幅に下回っていたことから、水質で考えると流量が増加するに従い希釈され低下していくこととなる。PAHs では、係数 b の値が概ね 1 付近であることから流量に依らず流出していることが考えられる。負荷量シミュレーションでは、水質項目ごとに定められたモデルパラメータ (表 4-6) を用いた L-Q 式の Qr に、水量シミュレーションで算定された時々刻々の M 川流量 (Qr) を入力することにより、M 川流末まで流れる負荷量 (L) を 10 分間隔で算定した。



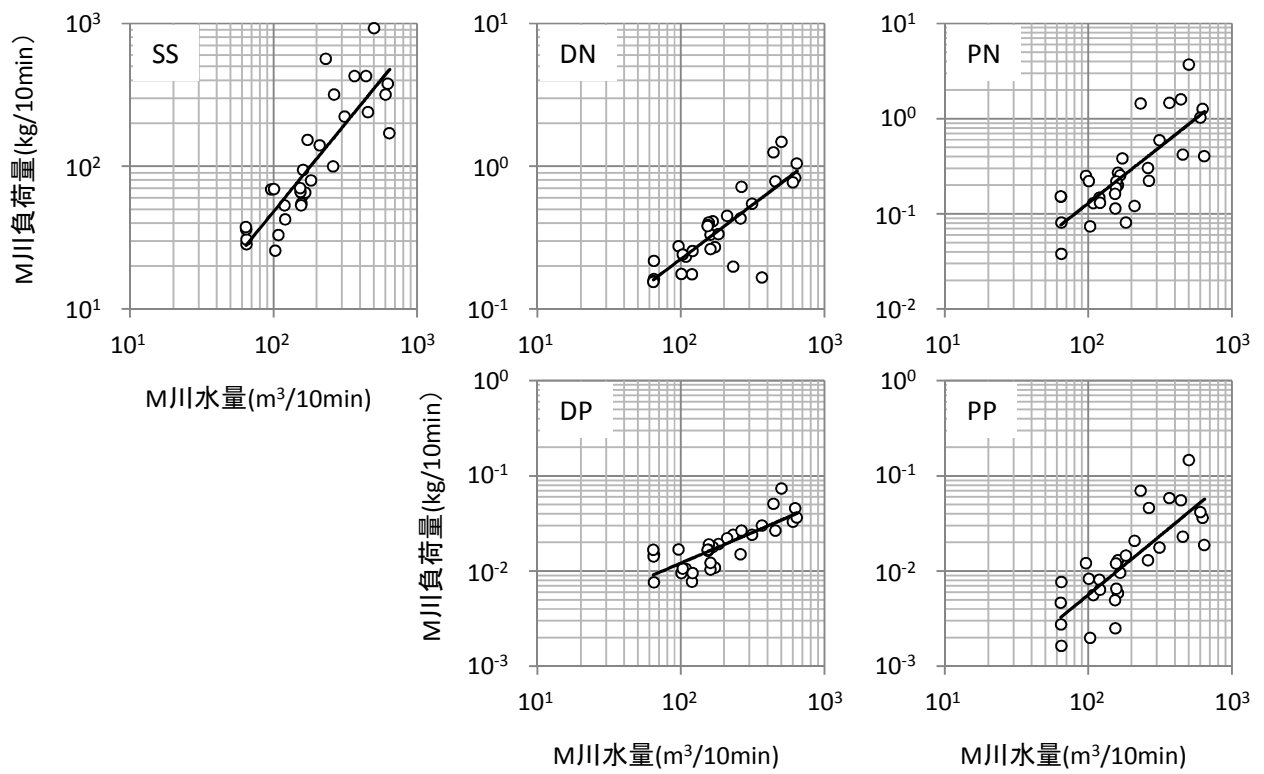


図 4-6-1 M 川流域から流出する流量と負荷量の関係

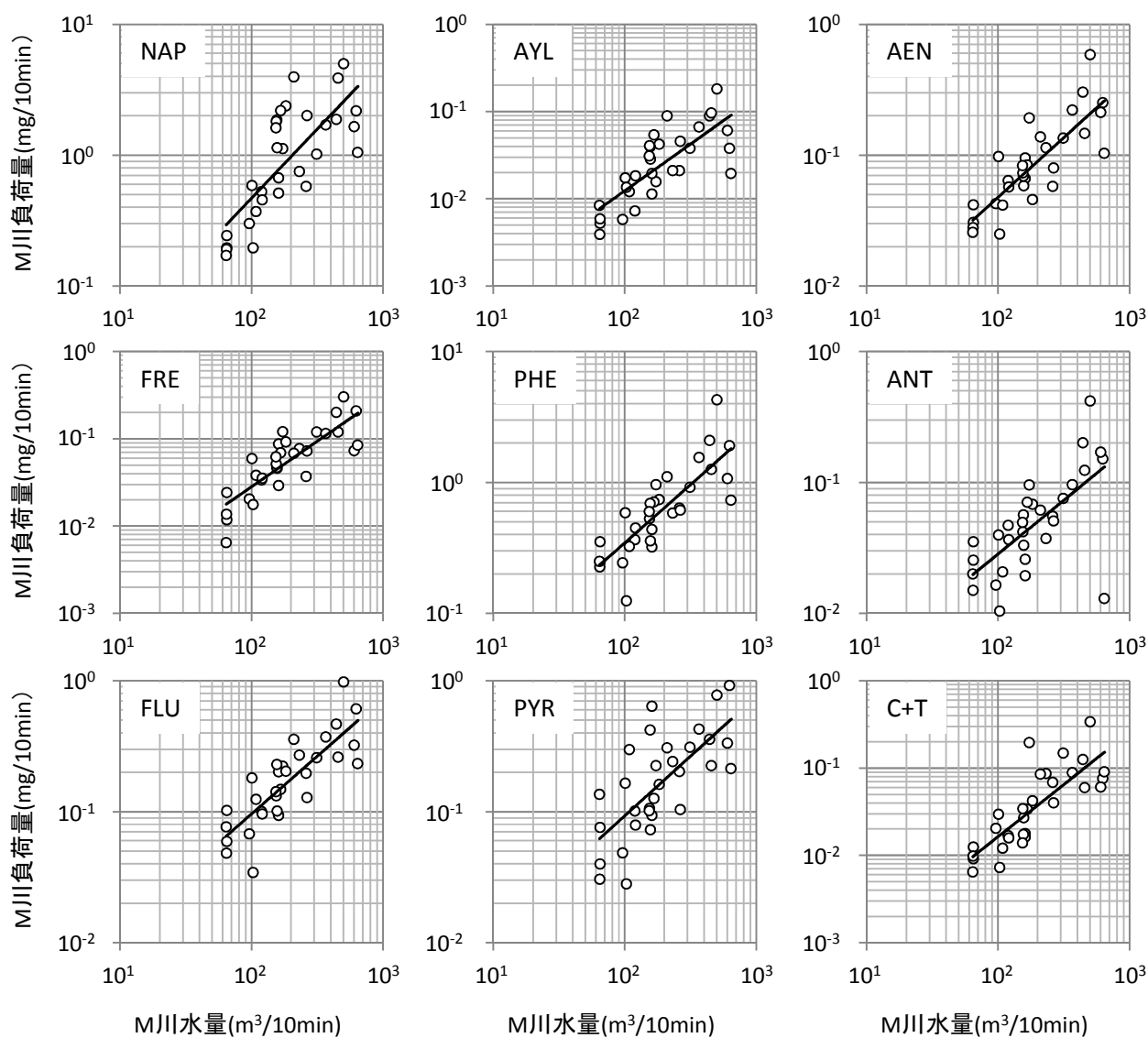


図 4-6-2 M 川流域から流出する流量と負荷量の関係

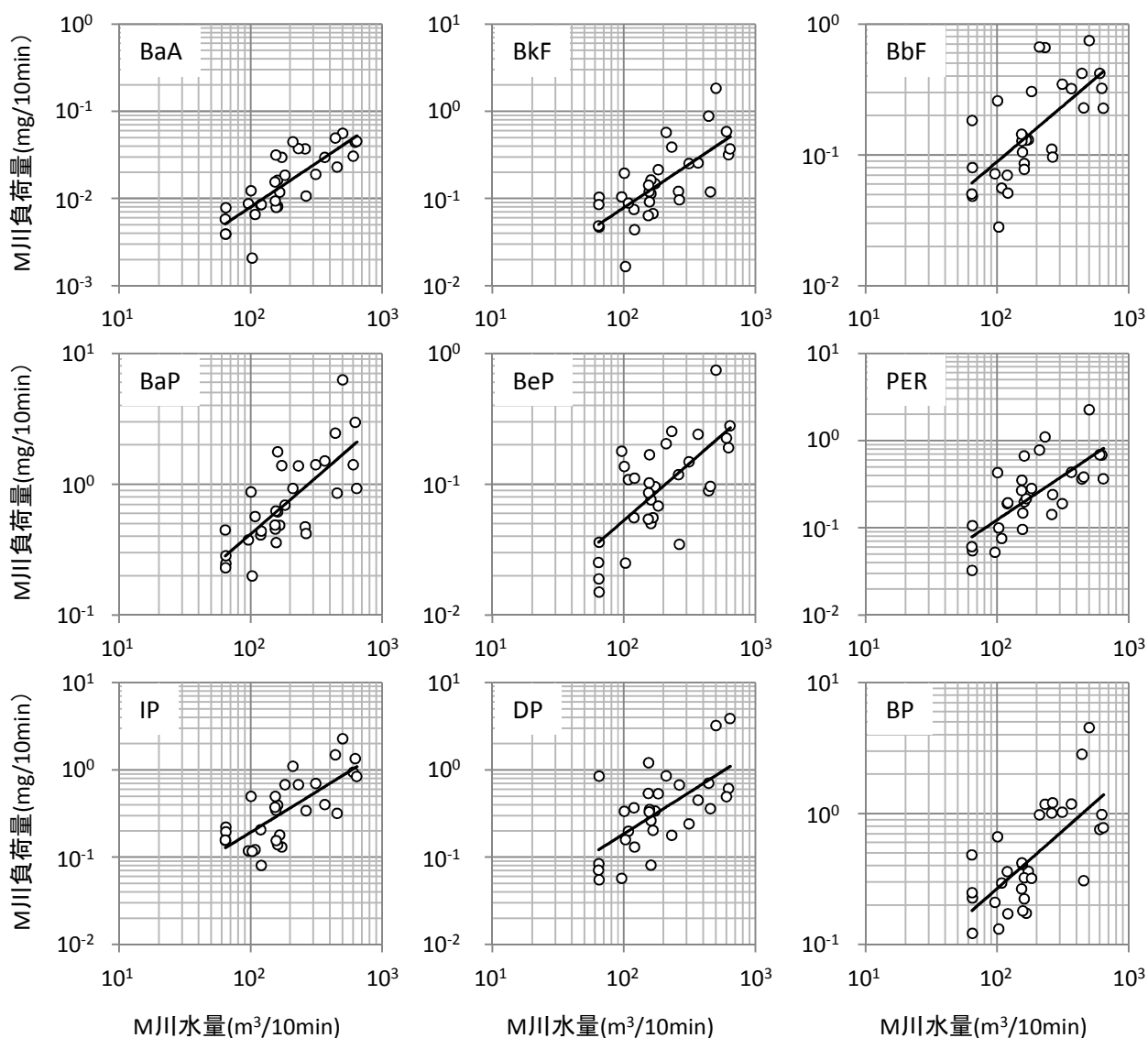


図 4-6-3 M 川流域から流出する流量と負荷量の関係

表 4-6 負荷量モデルのパラメータ

	SS	DN	PN	DP	PP
$a(\times 10^{-2})$	1.67	0.67	0.06	0.06	0.002
b	1.23	0.76	1.19	0.65	1.24
$R^2$	0.44	0.66	0.37	0.64	0.34

	NAP	AYL	AEN	FRE	PHE	ANT	FLU	PYR	C+T	BaA
$a(\times 10^{-3})$	3.64	0.09	0.72	0.23	5.80	0.65	1.66	1.40	0.07	0.08
b	1.06	1.07	0.91	1.04	0.89	0.82	0.88	0.91	1.19	1.01
$R^2$	0.28	0.32	0.45	0.50	0.43	0.38	0.50	0.39	0.29	0.58

	BkF	BbF	BaP	BeP	PER	IP	DP	BP
$a(\times 10^{-8})$	0.77	1.77	7.68	0.95	1.18	2.68	2.29	4.60
b	1.00	0.85	0.87	0.87	1.01	0.93	0.95	0.88
$R^2$	0.32	0.29	0.36	0.32	0.26	0.50	0.34	0.29



#### 4.3.4 一時貯留池における沈降除去シミュレーションモデル

出水時に一時貯留池へ流入した水は、静置されることにより懸濁成分が沈殿し、水質が減少していくことが期待される。各出水時汚濁物流出調査における一時貯留池内水質の経時変化をみると、出水ごとに流入水質が異なるものの、いずれも静置時間が経過するにしたがって水質が指数関数的に減少していた。したがって、一時貯留池内の水質  $C$  を下記の一次反応式 (7) により定式化することとした。

$$C = C_0 \cdot e^{-kt} \quad \dots \dots (7)$$

ここに、 $C$  : 一時貯留池内水質 (mg/L または ng/L),  $t$  : 最大流入濃度  $C_0$  が流入した場合を想定した静置時間 (10min),  $C_0$  : 調査において観測された最大流入濃度 (mg/L または ng/L),  $k$  は沈殿速度係数 (1/10min) である。 $C_0$  には、3 章の出水時調査において観測された流入水質の最大値を水質項目ごとにあてはめた。 $k$  は、水質項目ごとに、実測した水質  $C_s$  個々の一時貯留池内水質の間で式 (8) を用いていったん求めた。

$$\begin{aligned} \log C_{s,i} &= k t_{s,i} + \log C_0 \\ \rightarrow \log C_{s,i+1} &= k t_{s,i+1} + \log C_0 \\ \therefore k &= \frac{\log C_{s,i} - \log C_{s,i+1}}{t_{s,i+1} - t_{s,i}} \quad \dots \dots (8) \end{aligned}$$

ただし、 $i=0$  のとき

$$C_{s,0} = \frac{\text{対象調査イベントの積算流入負荷量}}{\text{対象調査イベントの積算流入水量}}$$

$C_s$  : 実測水質 (mg/L),  $t_s$  :  $C_s$  を採水した時刻(day),  $i$  : 流入が終了してからの採水回数である。このように算定した  $k$  のうち「平均値  $\pm \sigma$ 」内に収まる値 (表 4-7) をもう一度算術平均することにより、表 4-8 の通り  $k$  を定めた。一時貯留池内の沈殿シミュレーションは、10 分間隔で計算を行った。沈殿シミュレーションでは、負荷量シミュレーションにおける流量  $Q_r$  と負荷量  $L$  により算定した一時貯留池への流入水質から、一次反応式を用いてその水質に対応する時刻  $t$  を算出し、この  $t$  に順次 10 分を加えて 10 分経過し沈殿した後の水質を再度、一次反応式を用いて算定した。こうして算定された一時貯留池水質と  $M$  川からの流入分を完全混合させて次ステップの一時貯留池内水質として順に計算を行った。一時貯留池からの流出水質については、後段の植生浄化施設へと排出される各時刻における一時貯留池内水質がそのまま流出するものとした。

表 4-7 水質項目ごとに実測した沈降速度係数  $k$  の概要

	SS	DN	PN	DP	PP	2-3ringsPAHs					4ringsPAHs					5-6ringsPAHs							
						NAP	AYL	AEN	FRE	PHE	ANT	FLU	PYR	C+T	BaA	BkF	BbF	BaP	BeP	PER	JP	DP	BP
max.	6.56	9.00	24.64	7.97	15.07	6.87	24.26	10.61	11.63	13.01	22.05	11.56	16.43	23.49	19.61	17.33	22.04	12.44	24.28	16.24	34.45	18.15	14.39
ave.	-0.72	-0.25	-0.28	-0.10	-0.51	-0.48	-0.57	-0.59	-0.69	-0.48	-0.18	-0.46	-0.45	-0.91	-1.04	-0.49	-0.44	-0.28	-0.16	-0.36	-0.33	-0.55	-0.87
min.	-7.11	-7.24	-22.65	-12.88	-19.18	-9.91	-29.81	-10.30	-10.09	-10.63	-24.75	-11.74	-20.74	-53.50	-57.60	-15.65	-18.90	-23.49	-18.90	-12.66	-19.49	-19.60	-13.33
偏差	2.38	1.77	5.20	2.17	5.30	2.46	5.57	3.97	4.01	3.98	7.21	4.19	4.85	8.26	7.96	5.49	5.82	4.84	6.51	4.88	6.18	5.31	4.47
+ $\sigma$	1.65	1.52	4.92	2.07	4.79	1.98	5.00	3.38	3.32	3.49	7.03	3.73	4.41	7.35	6.92	5.01	5.38	4.56	6.36	4.52	5.86	4.76	3.60
$\sigma$	-3.10	-2.02	-5.49	-2.27	-5.81	-2.94	-6.14	-4.56	-4.70	-4.46	-7.39	-4.64	-5.30	-9.18	-9.00	-5.98	-6.27	-5.11	-6.67	-5.24	-6.51	-5.86	-5.34

表 4-8 沈殿モデルのパラメータ

	SS	DN	PN	DP	PP													
C <sub>0</sub> (mg/L)	564	7.26	7.26	1.49	1.49													
k (1/10min)	0.78	0.15	0.64	0.05	0.72													
	NAP	AYL	AEN	FRE	PHE	ANT	FLU	PYR	C+T	BaA	BkF	BbF	BaP	BeP	PER	IP	DP	BP
C <sub>0</sub> (ng/L)	345	11	19	35	528	28	505	414	13	114	248	81	203	93	31	209	797	137
k (1/10min)	0.61	0.57	0.60	0.31	0.53	0.17	0.32	0.43	0.52	0.51	0.32	0.59	0.28	0.48	0.38	0.57	0.84	0.76

#### 4.4 再現性の検討

シミュレーションの結果について、出水時汚濁物流出調査における流量と水質の実測値を用いて、再現性の検討を行った。

##### 4.4.1 水量におけるシミュレーションの再現性

2010年1月1日から2010年12月31日の間においてシミュレーションの再現性の検討を行った結果、M川における水位の実測値と計算値の関係は図4-7に示す通りとなった。M川における変動を概ね良好に再現できており、積算値では計算値は実測値の104.6%となっていたことから、流域の水量についてはよい精度で再現できているものと考ええる。一時貯留池における水量の実測値と計算値の関係を図4-8に示す。ここでは検証のために、2010年において実際に一時貯留池が、河川水を取り込んでいた、または排水していた時間に一時貯留池タンクに水を流入・流出させている。一時貯留池内での水量の変動については概ね良好に再現できているが、実測値で一時貯留池水量が約23,000m<sup>3</sup>となっている2010年6月16日にみられるような、計画貯水量を大幅に超えて水を取り込まれた場合などで十分再現できていないところもあった。しかし、積算値では、計算値は実測値の100.1%となるため非常に良好であった。

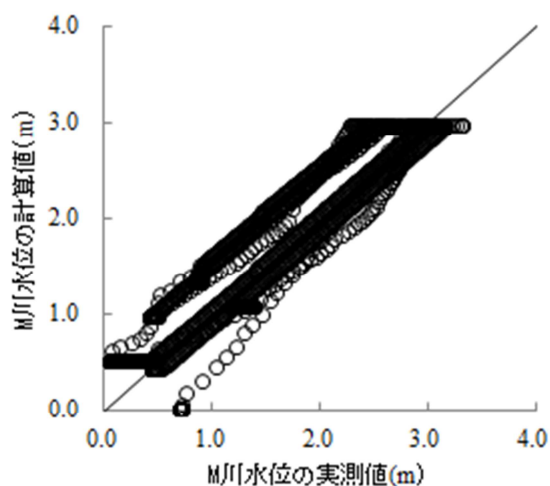


図4-7 M川水位に関するシミュレーション結果

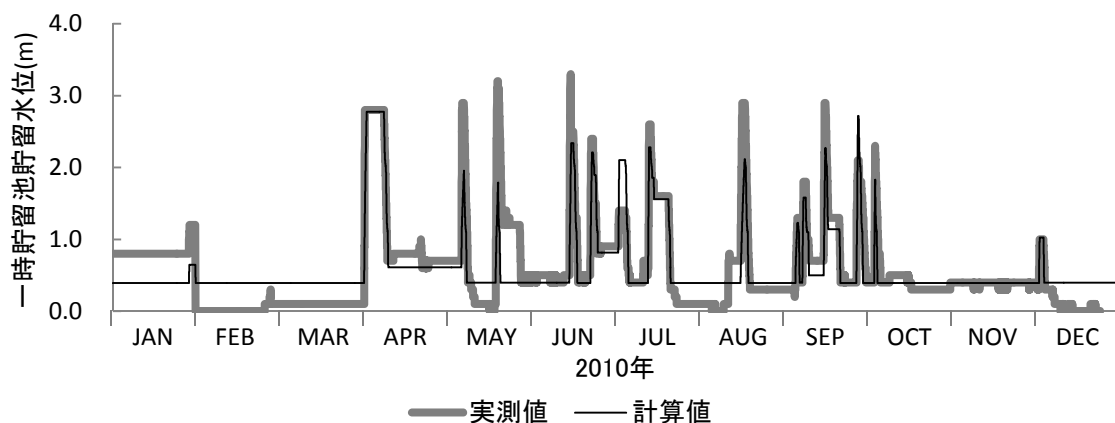


図4-8 2010年における一時貯留池水量に関するシミュレーションの再現性の検討

一方で、モデルの構築に 2010 年の結果を用いているため別の年度においても再現性を検討する必要があると考える。そのため、2008 年の 4 月から 8 月（1 月から 3 月を予備期間とした）において再現性の検討を行った（図 4-9）。このとき、2010 年の再現性の検討では、実際に則して一時貯留池を稼働させたが、2008 年では濁度と降雨量から稼働するか否かを判別している。図 4-9 では、実測値においては底水排水をしているため稼働していない場合にはほぼ 0 となっているため、計算値と比較して値が低くなっている。4 月には、実測値では 1 回しか稼働しなかったが、計算値では 3 回稼働していた。これは実測値の初回の稼働において流入に時間がかかったことと、底水排水が最後まで終了しなかったことが原因であると考えられる。それ以外では、本来稼働すべきタイミングで一時貯留池における施設のエラーにより稼働しなかった部分を除くと、計算値は実測値をよく再現できていた。

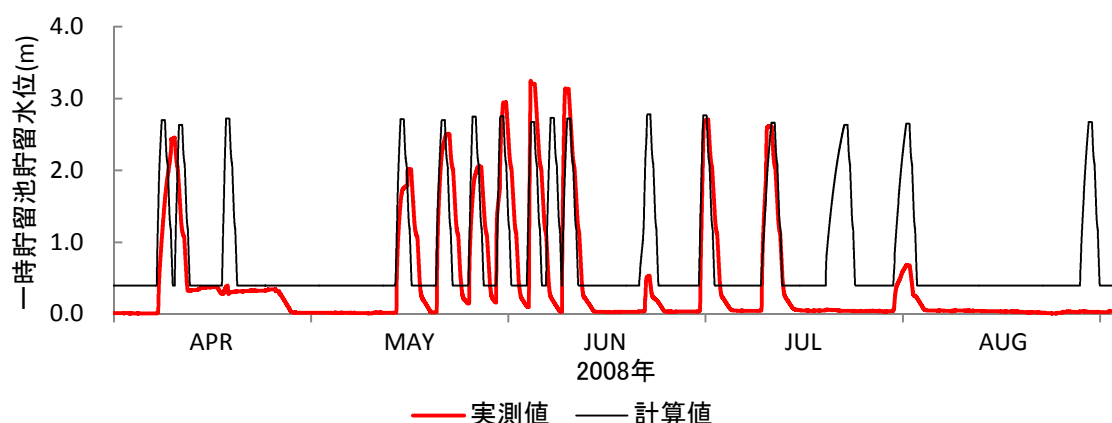


図 4-9 2008 年における一時貯留池水量に関するシミュレーションの再現性の検討

#### 4.4.2 水質におけるシミュレーションの再現性

水質の再現性の検討を、2010 年において調査を行った 4 回分を用いて再現性の検討を行う。シミュレーション結果と調査結果を、**図 4-10**～**図 4-13**に示す。**図 4-10**では、2010 年 5 月 7 日出水時の一時貯留池における水量と水質の経時変化を示している。SS ではファーストフラッシュを除いて水質が再現できていた。TN では、流入水質が途中から上昇していくものを表現しきれていなかった。TP では概ね水質レベルを再現できていた。5-6ringsPAHs 以外の PAHs においてファーストフラッシュ以外の水質をうまく再現できていた。5-6ringsPAHs のなかでも特に、DP において計算値が実測値を再現できていなかった。**図 4-11**では 2010 年 5 月 19 日出水時の結果を示している。SS や TN では、流入流出水質ともに良好に再現できていた。しかし、TP では実際の水質の倍程度の水質で表現されていた。**図 4-12**では 2010 年 6 月 15 日出水時の結果を示している。SS や 4ringsPAHs, 5-6ringsPAHs などの環数の大きい PAHs において、流入水質が実測値の 30%～50%程度だった。**図 4-13**では 2010 年 6 月 23 日出水時の結果を示している。流入水質では、NAP や AYL で実測水質の 20%程度だった。流出水質では、TN や TP では実測水質より計算水位が低かったが、ANT や BaP などの PAHs では計算水質が実測水質の 2 倍程度であった。

水量と同様に、2008 年の調査結果と比較したものを**図 4-14**～**図 4-17**に示す。**図 4-14**には 2008 年 5 月 20 日出水時の結果を示している。SS, BbF, BeP, PER や BP ではファーストフラッシュが、計算水質の 5 倍から 6 倍の実測水質と大幅に高くなったものの、流出水質は良好に再現できていた。しかし、他の計算水質における PAHs は、流入水質と流出水質の両方で実測水質の 10%～20%程度であった。これは流入水質において、計算水質が実測水質を大幅に下回って流入したためであると考えられる。**図 4-15**には 2008 年 5 月 24 日出水時の結果を示している。流入水質では、TN(D)ではよく再現できていたが、他の水質項目では計算水質は実測水質の 10%のものもあった。流出水質においては、TP(D)を除いて概ね良好に再現できていた。**図 4-16**には 2008 年 6 月 29 日出水時の結果を示している。SS では、流入・流出水質をほぼ再現できていたが、流入の途中で水質が急上昇している部分に関しては再現しきれていなかった。この SS 水質の上昇に伴って他の水質項目でも水質が急上昇し、計算水質では再現しきれていなかった。全体を通して、SS, TN や TP の実測値では、一時貯留池の流入水質が時間を追うごとに減少していったが、計算値では流入水質はそれほど減少していかなかった。さらに、TN や TP の計算値では、実測値より大きな水質のファーストフラッシュをもって流入していた。一方、一時貯留池からの流出水質では、TN や TP において計算値が実測値よりも幾分大きな水質となったものの、DN や DP においては計算値が実測値と同じレベルで再現できている。これは、PN や PP の一時貯留池内における沈殿を、実際より幾分小さく見積もってしまっているためと推察される。しかし、PAHs の流出水質は、計算値と実測値がほぼ同じ程度であったことから、12 時間の静置時間でも沈殿しきれないような細かい粒子として存在する PAHs は、比較的良好に表されていると考える。水質項目により依存する粒径が異なるため個々の精度に差があるものの、全体としては十分な再現性があると考えられる。また、2008 年の再現性は 2010 年と比較して、特に流入水質で再現できていなかった。これは流入水質を 2010 年のデータのみを用いて算定しており、2008 年の流入水質は 2010 年の流入水質のデータと比較して大きいもので 10 倍高い水質となっているためである。

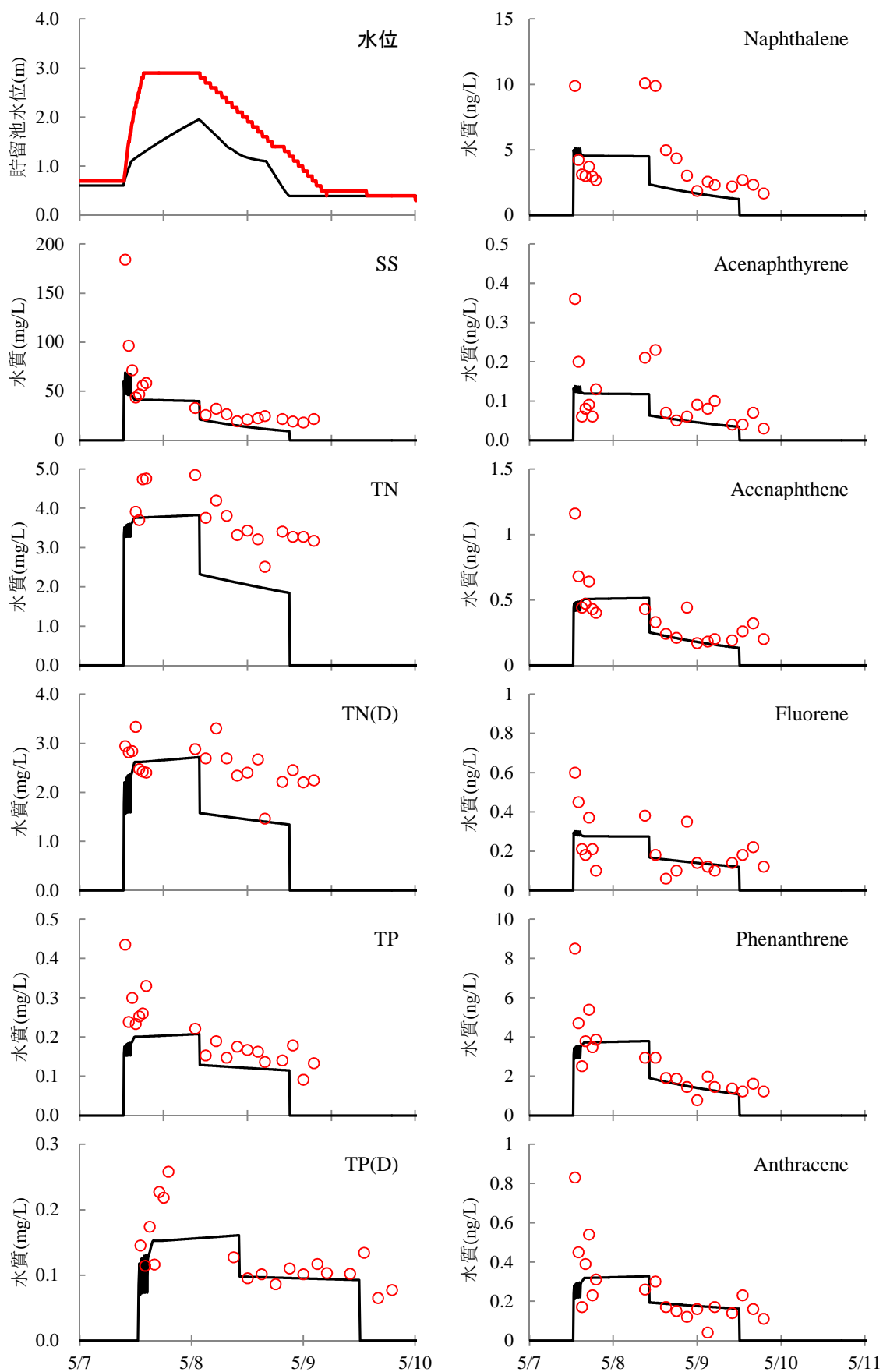


図 4-10-1 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2010 年 5 月 7 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

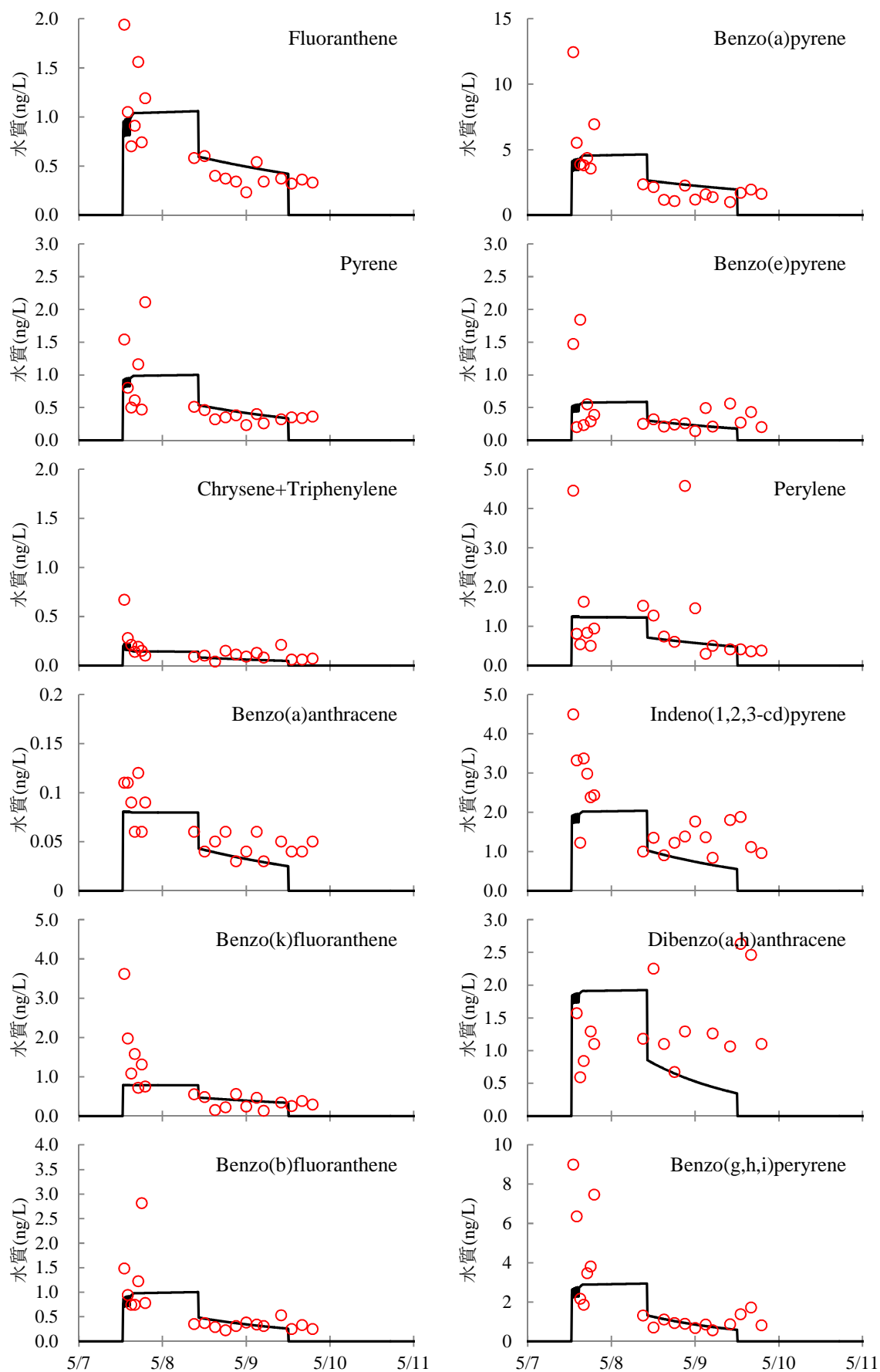


図 4-10-2 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2010 年 5 月 7 日出水時)

— 予測水質 ○ 実測水質

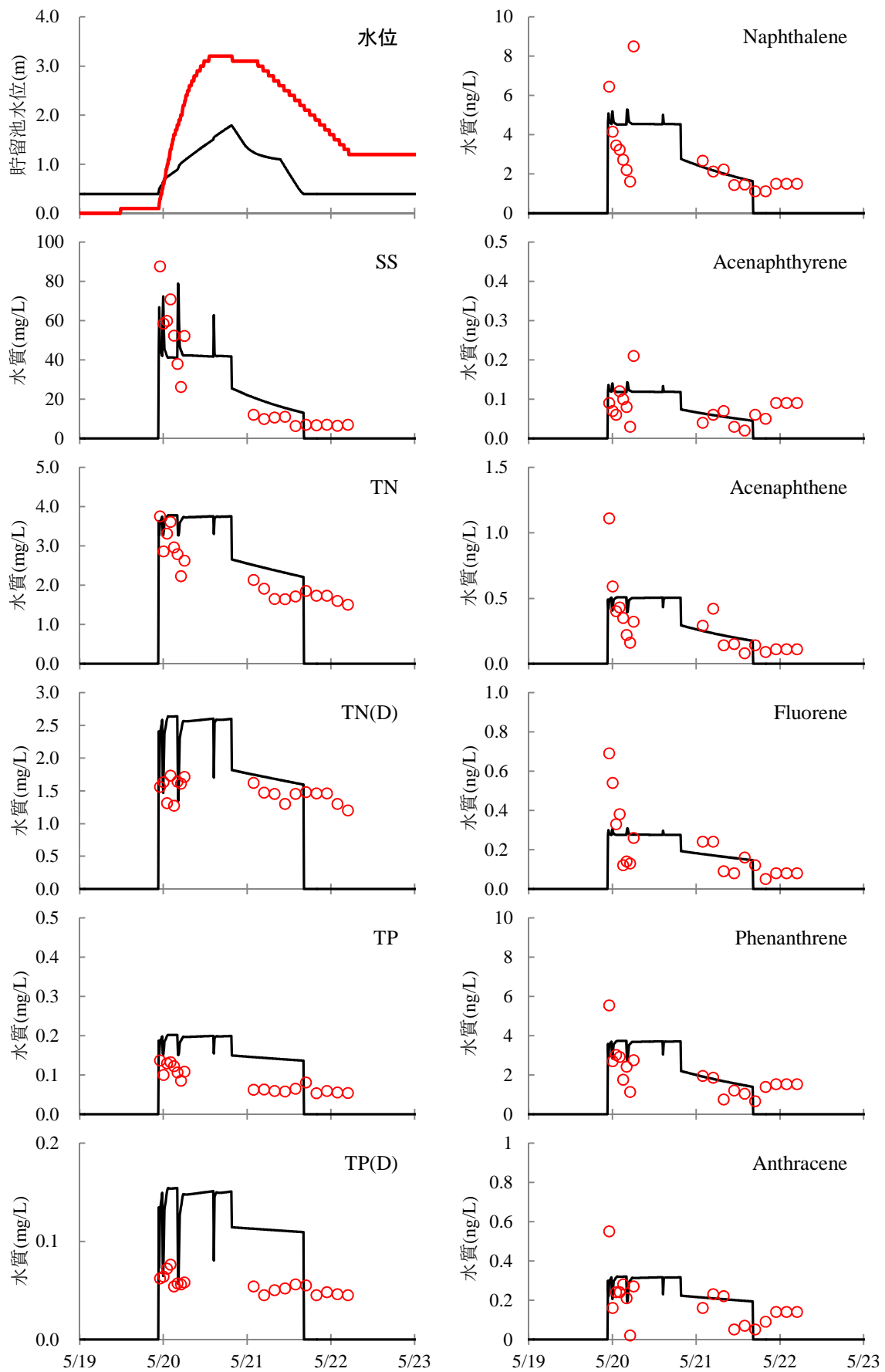


図 4-11-1 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 5 月 19 日出水時)

— 予測水質 ○ 実測水質



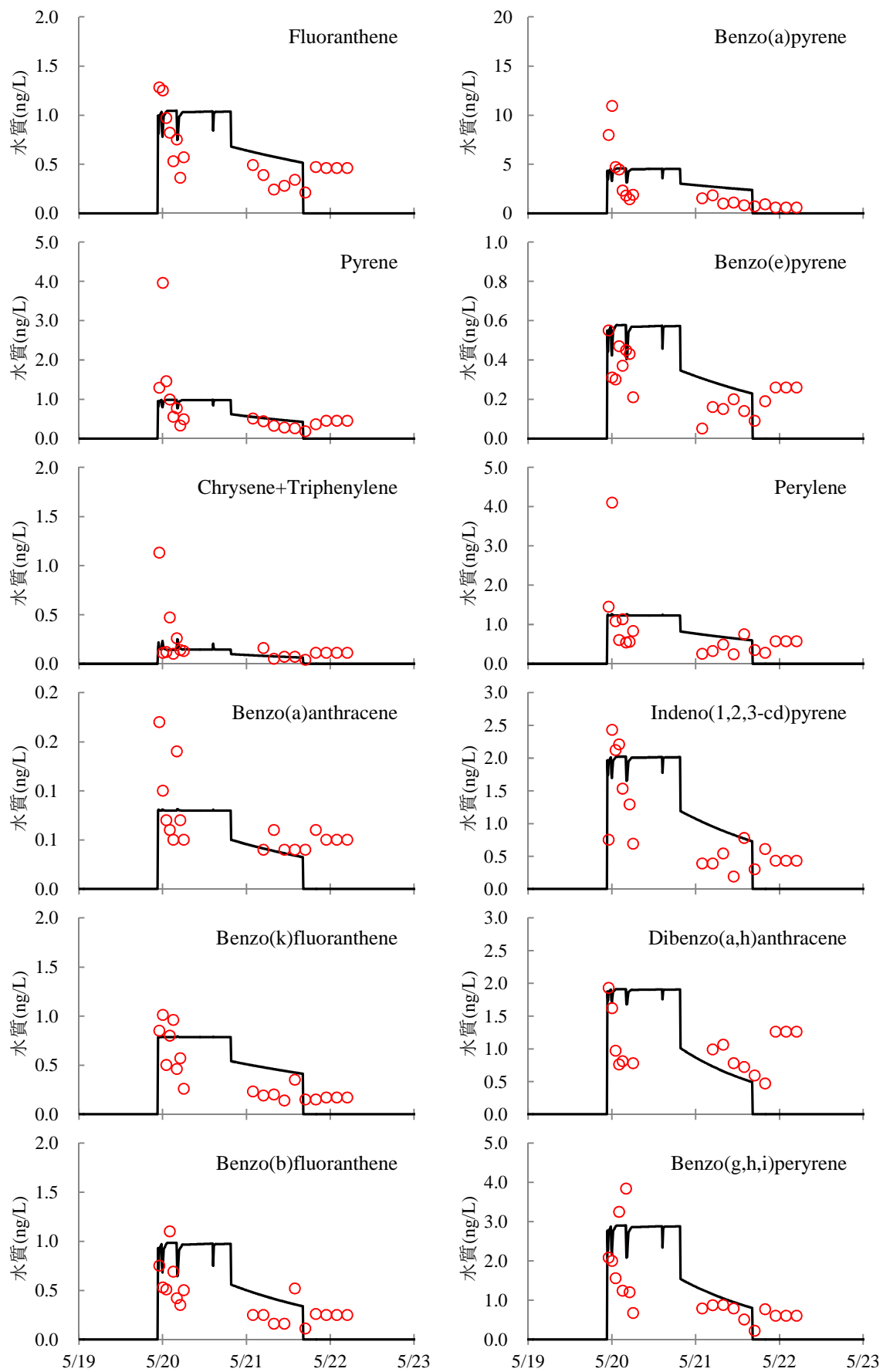


図 4-11-2 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 5 月 19 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

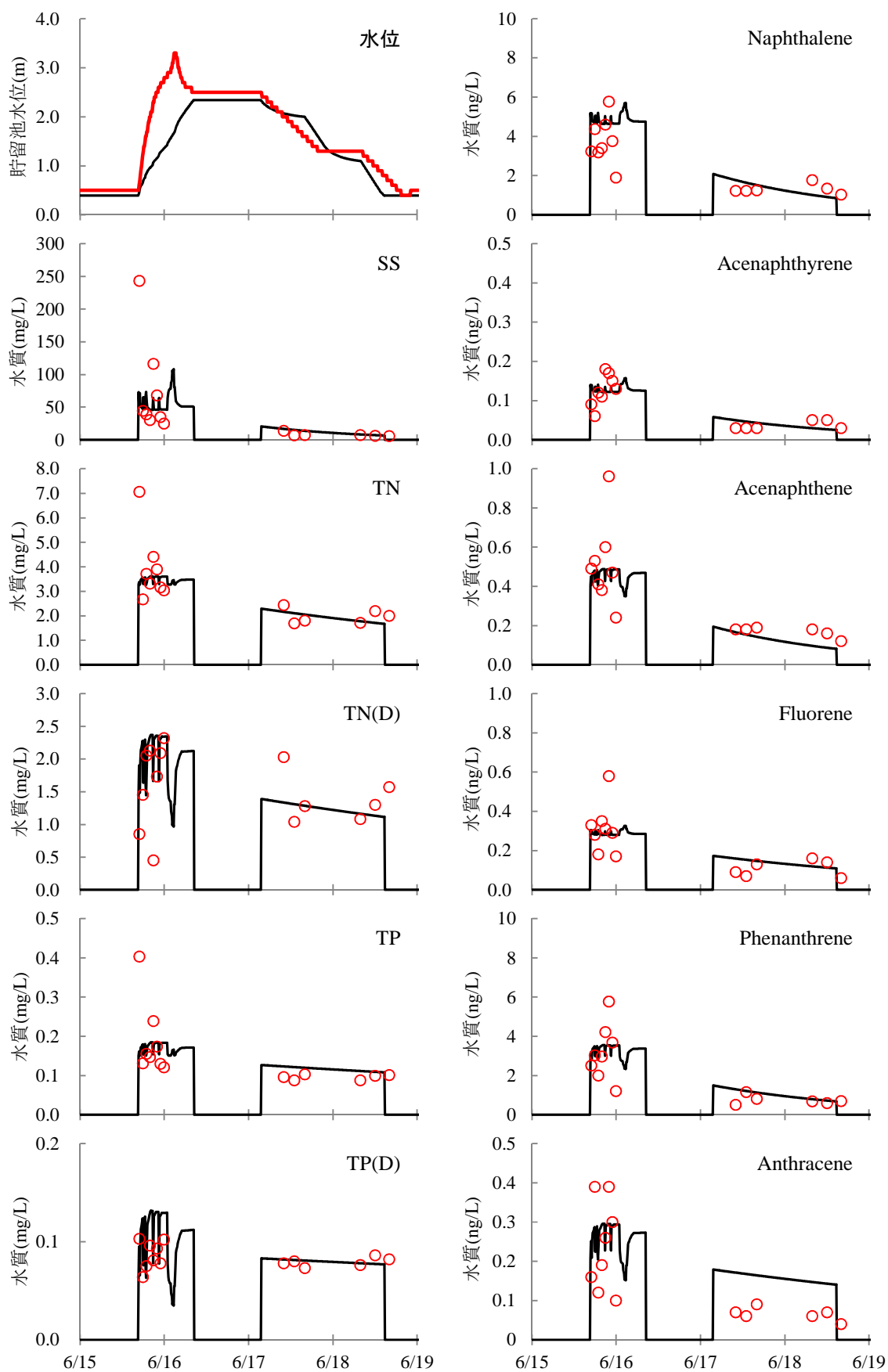


図 4-12-1 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 6 月 15 日出水時)

— 予測水質 ○ 実測水質

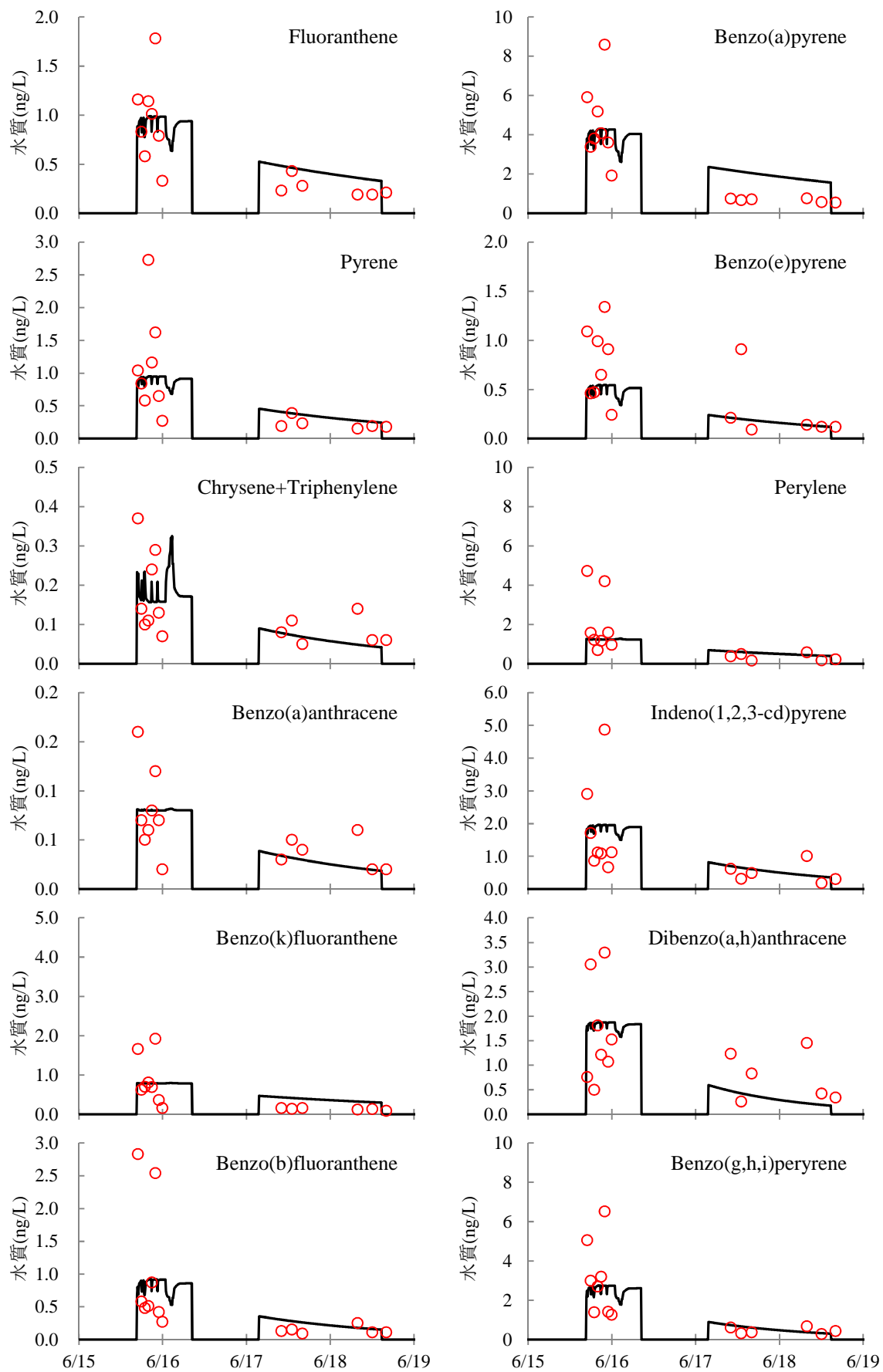


図 4-12-2 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 6 月 15 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

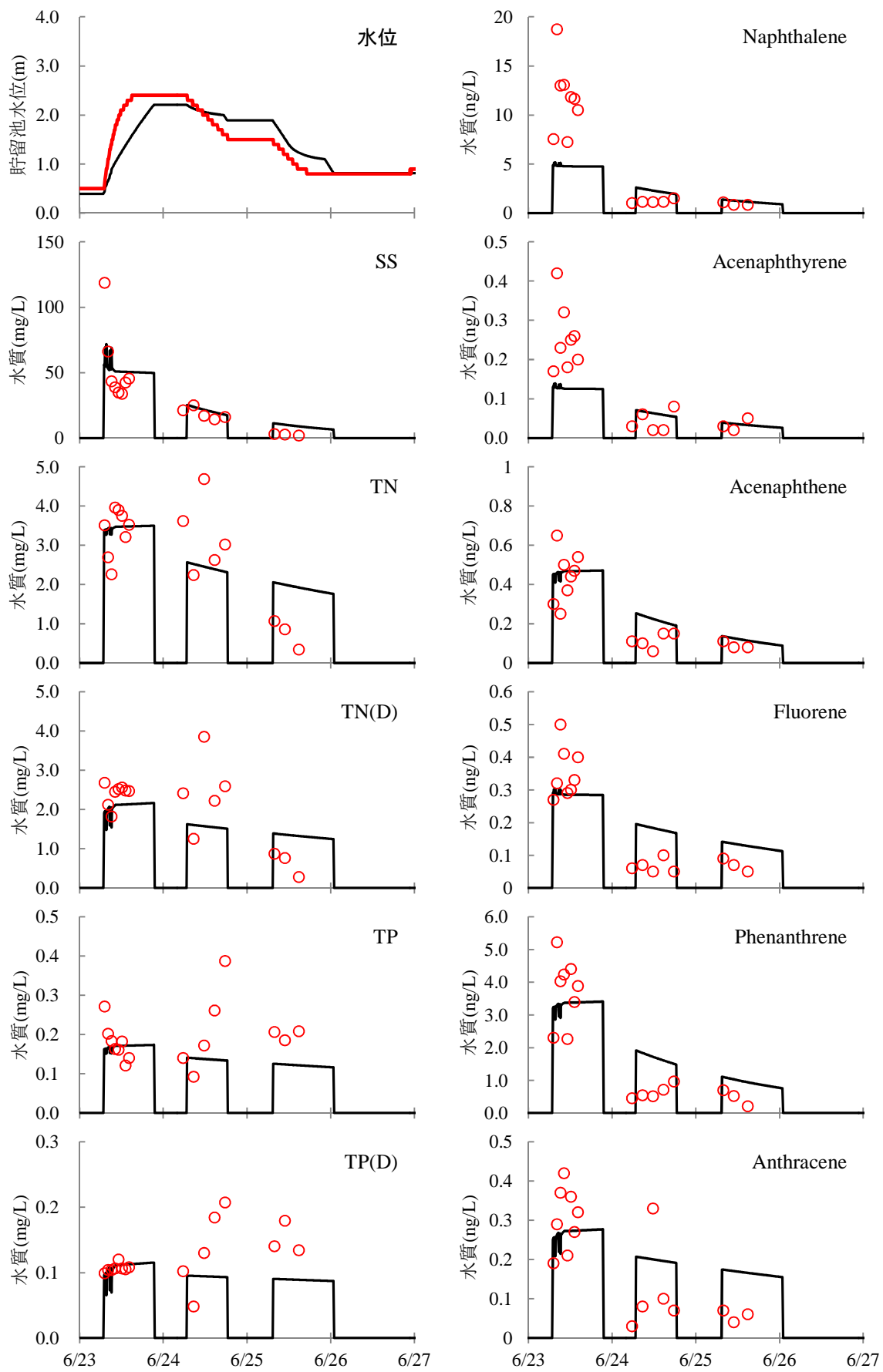


図 4-13-1 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 6 月 23 日出水時)

— 予測水質 ○ 実測水質

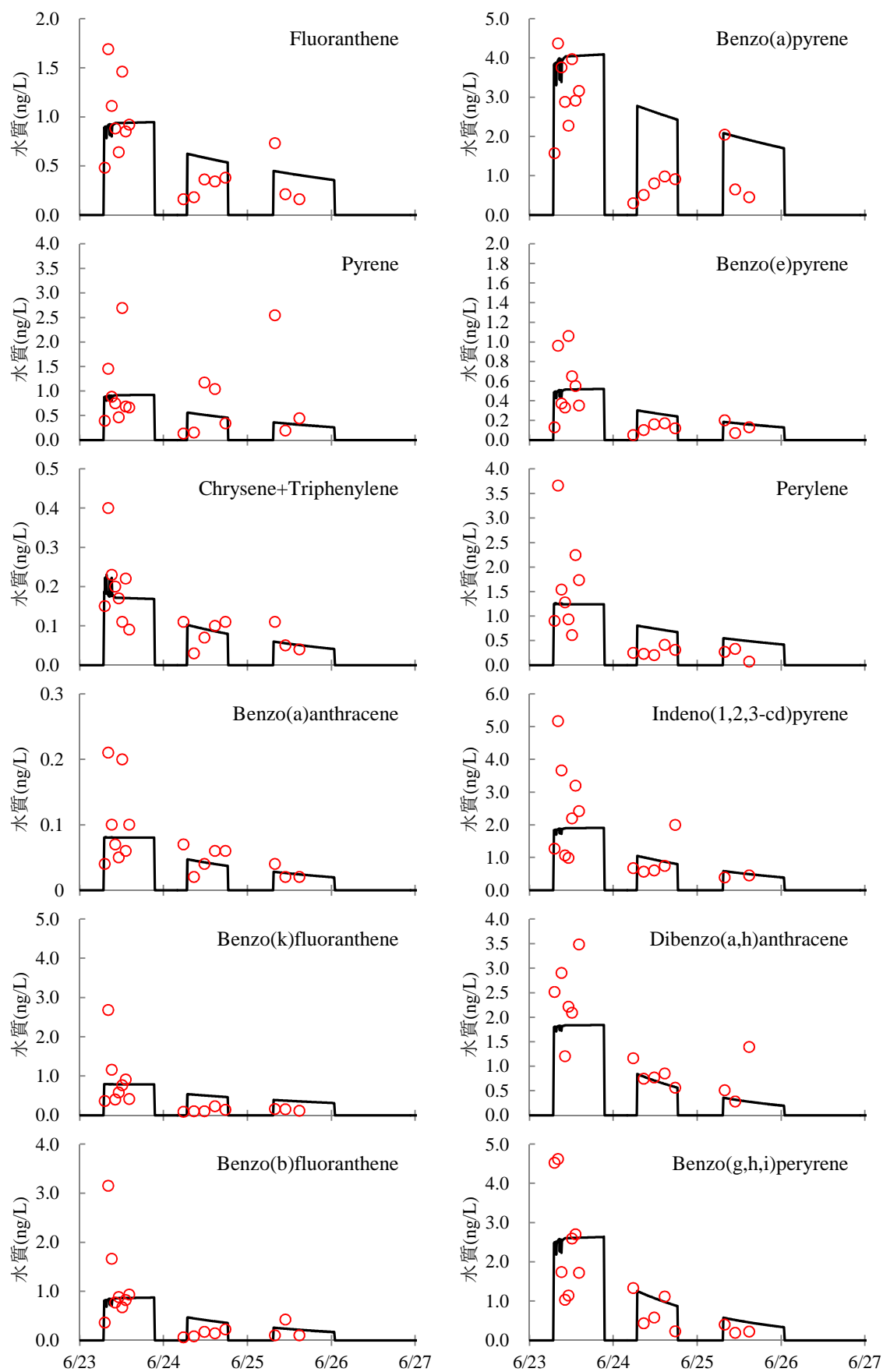


図 4-13-2 2010 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2010 年 6 月 23 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

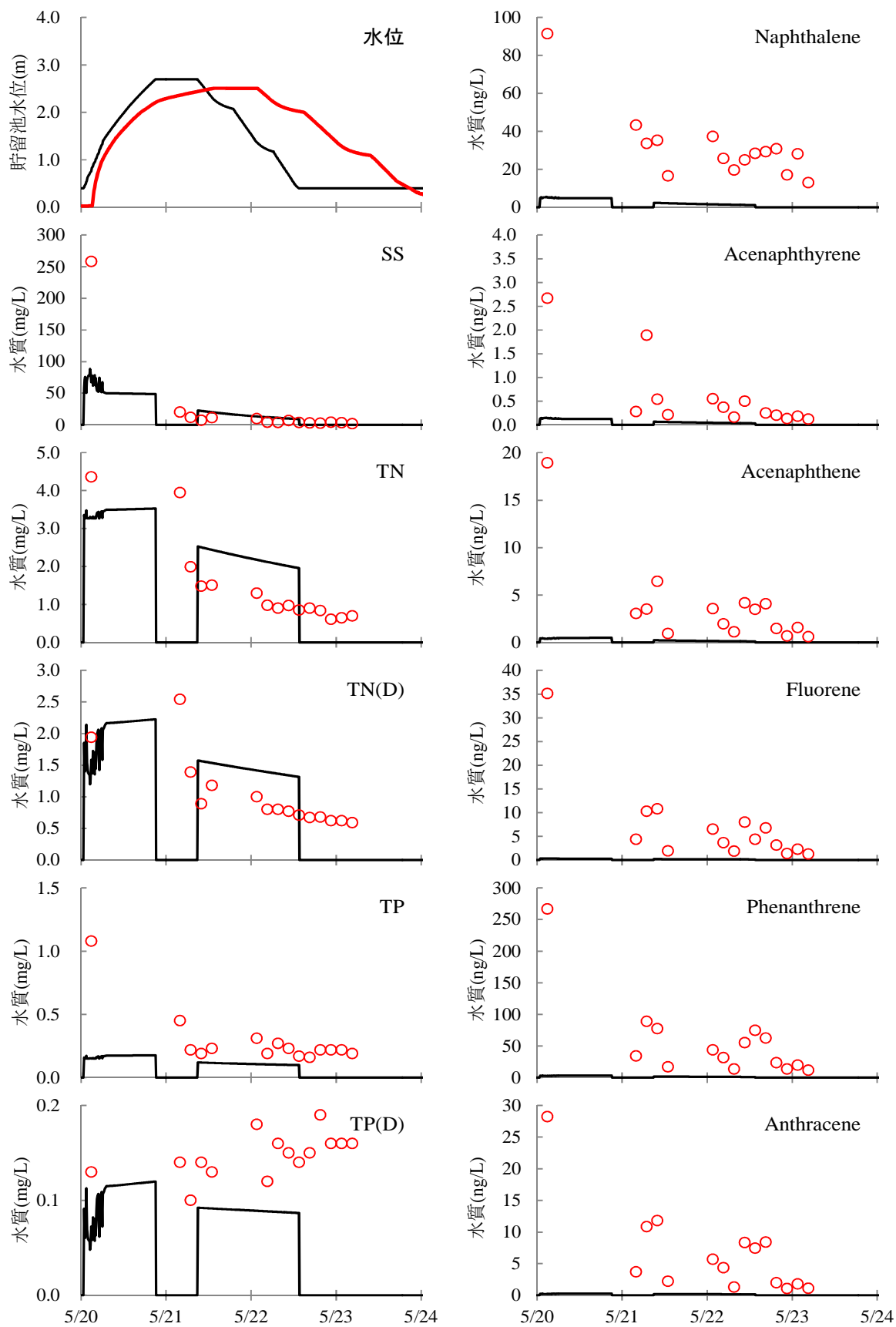


図 4-14-1 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2008 年 5 月 20 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

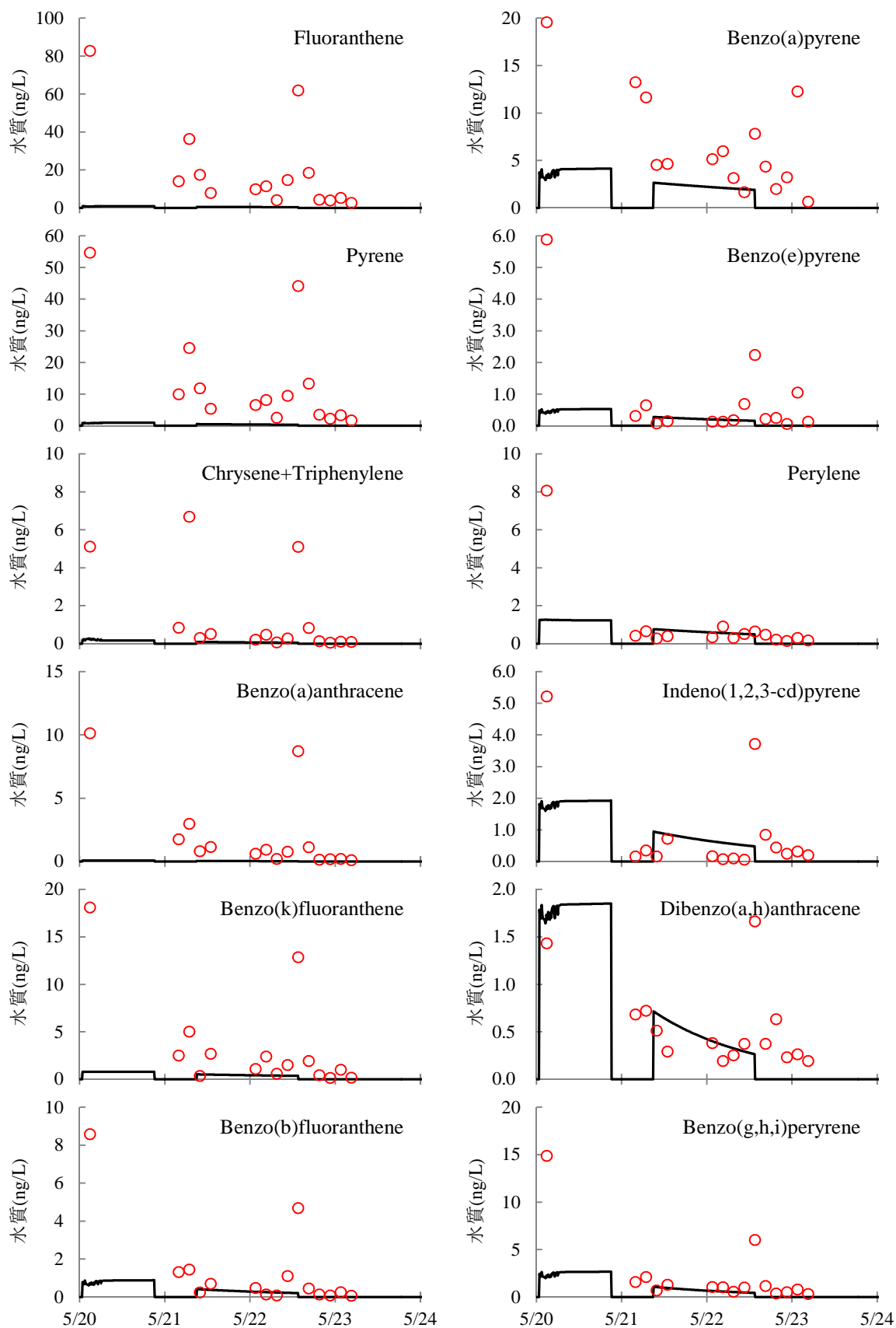


図 4-14-2 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 5 月 20 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

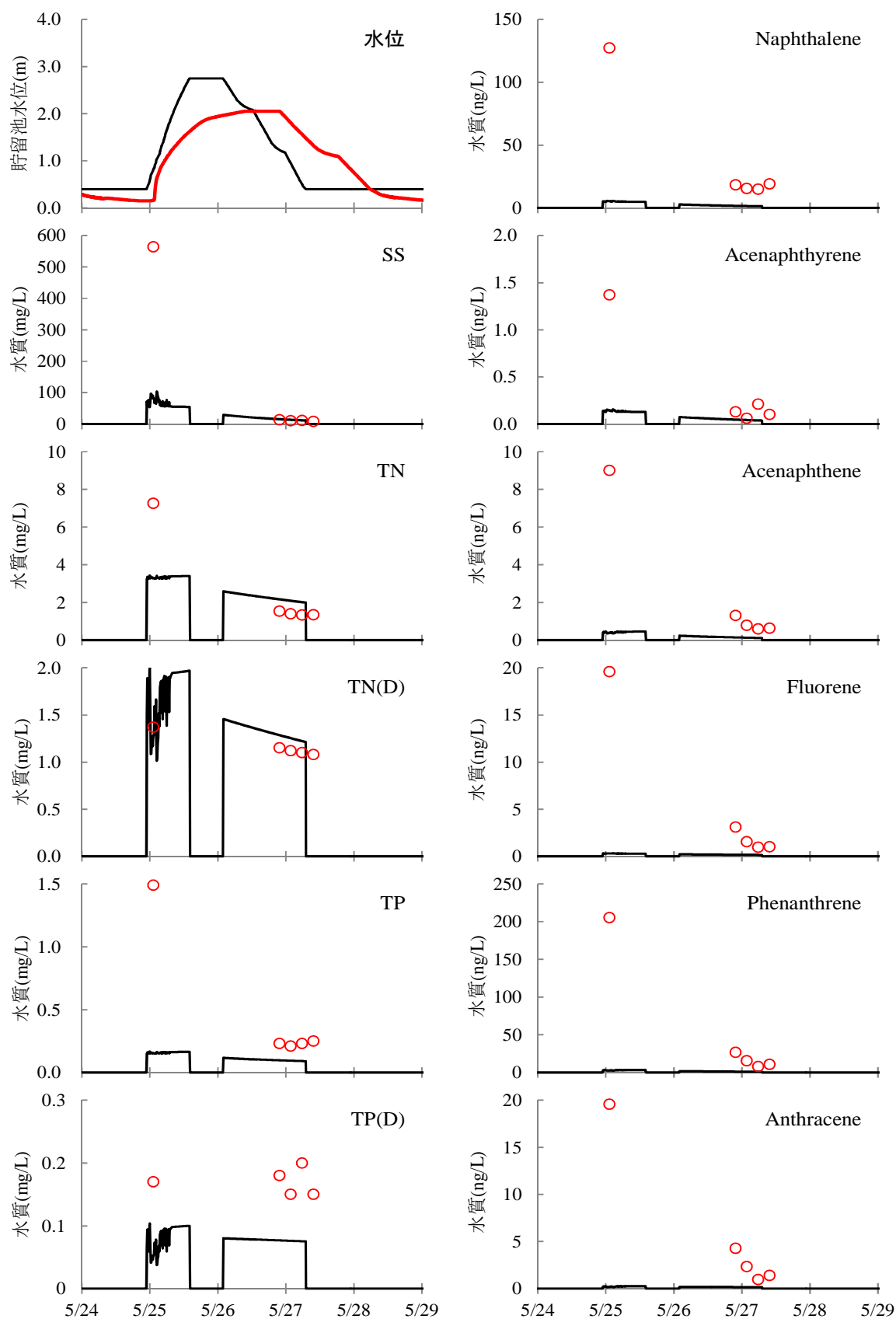


図 4-15-1 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 5 月 24 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質



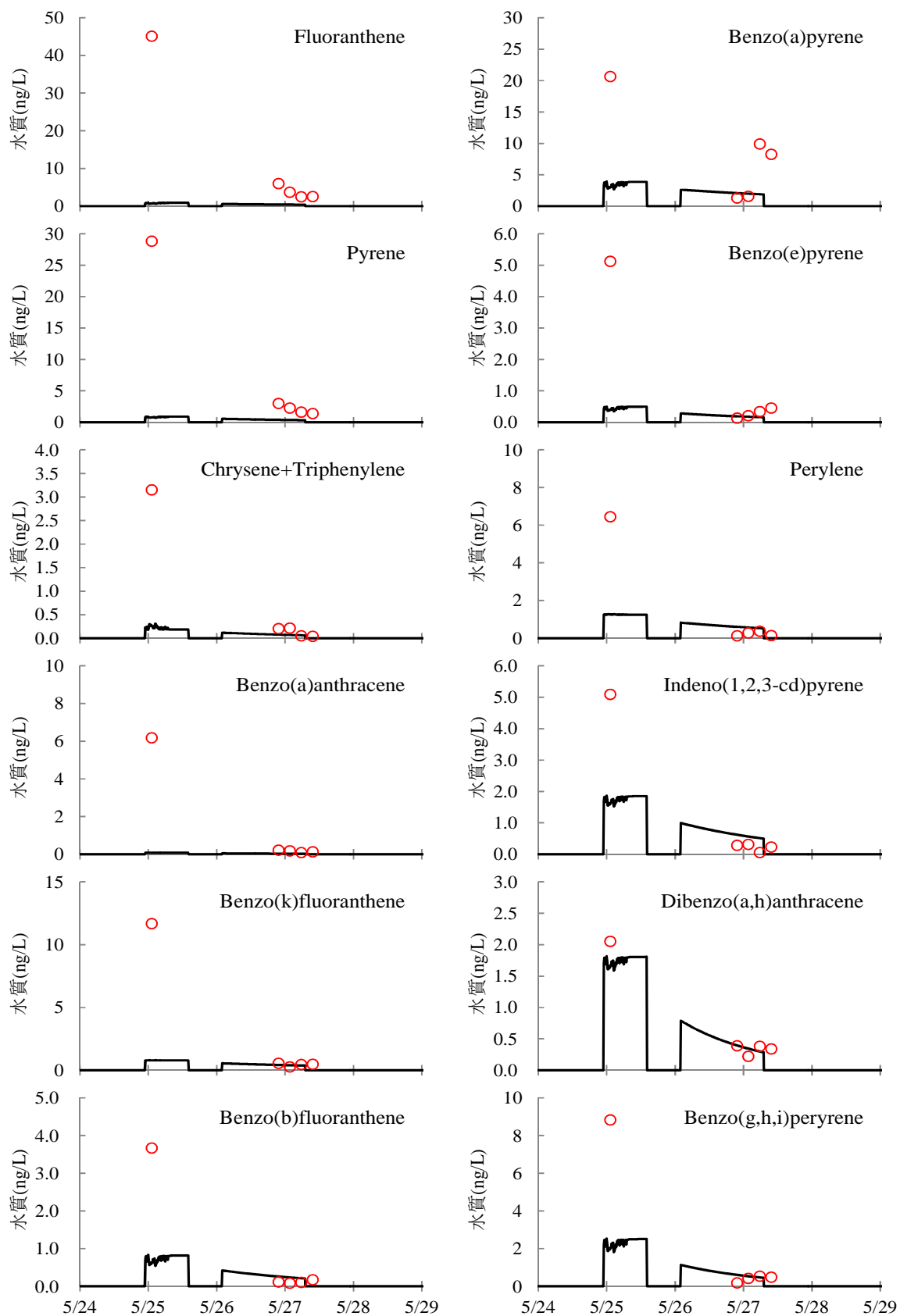


図 4-15-2 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 5 月 24 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

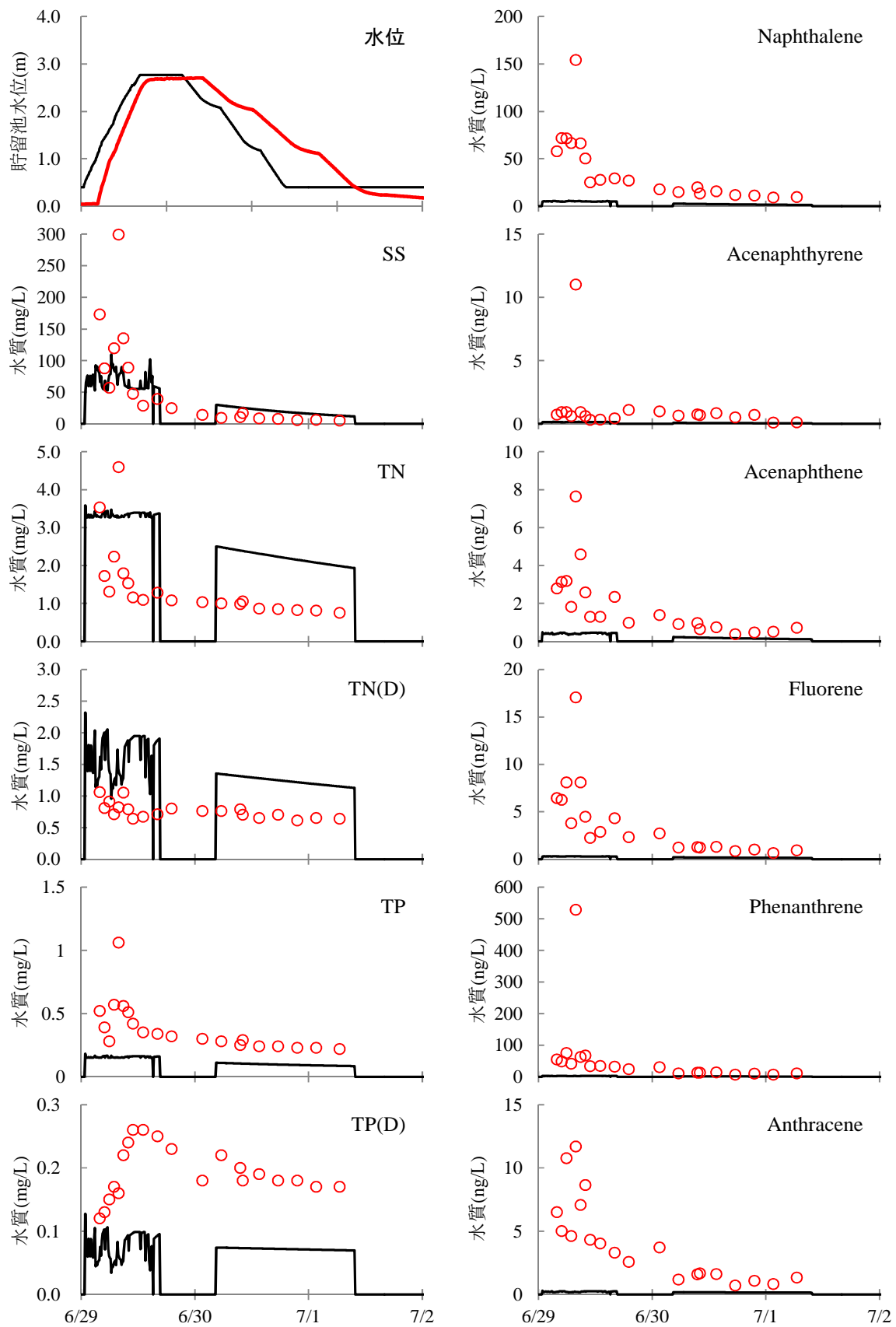


図 4-16-1 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 6 月 29 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

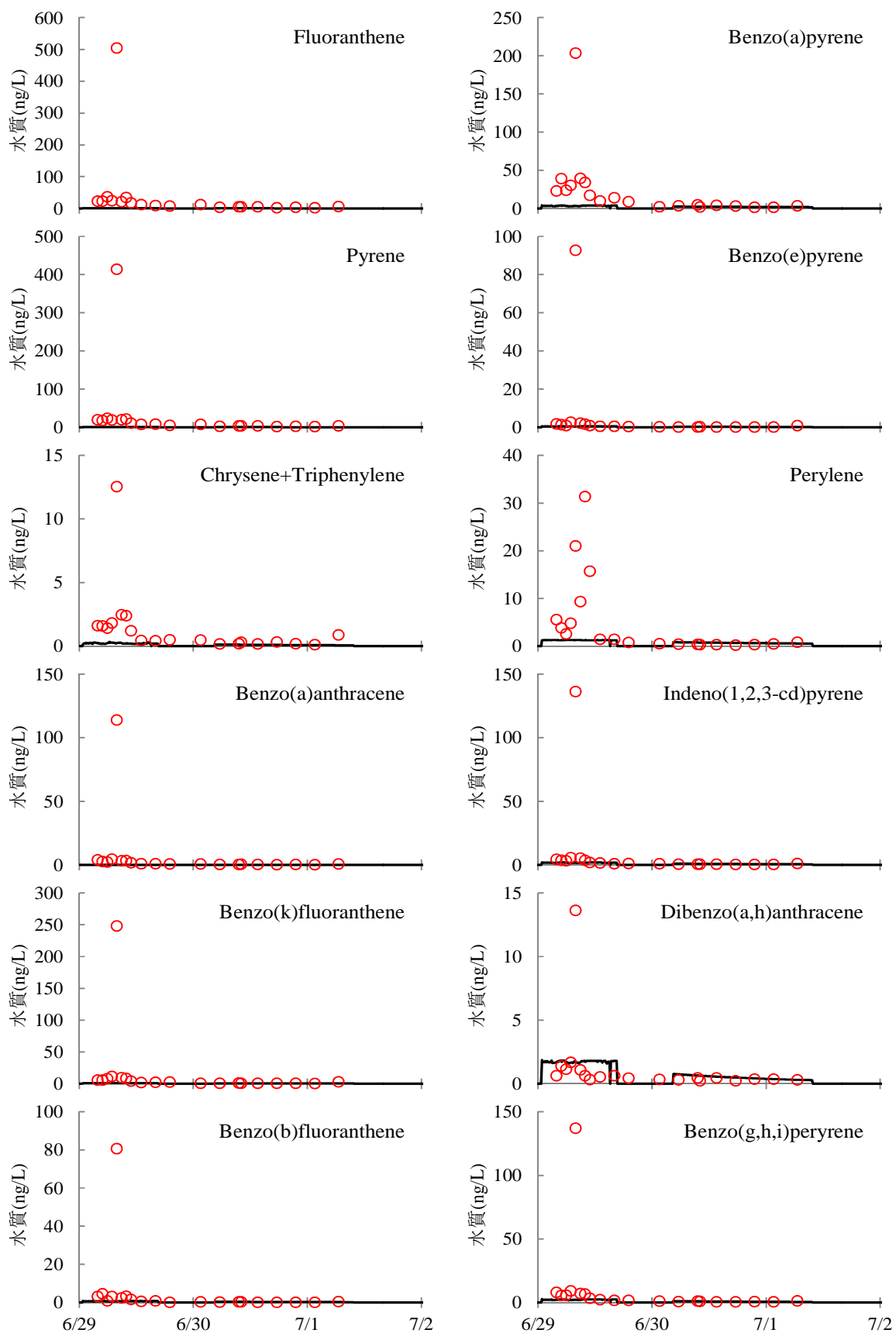


図 4-16-2 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討(2008 年 6 月 29 日出水時)  
 — 予測水質    ○ 実測水質

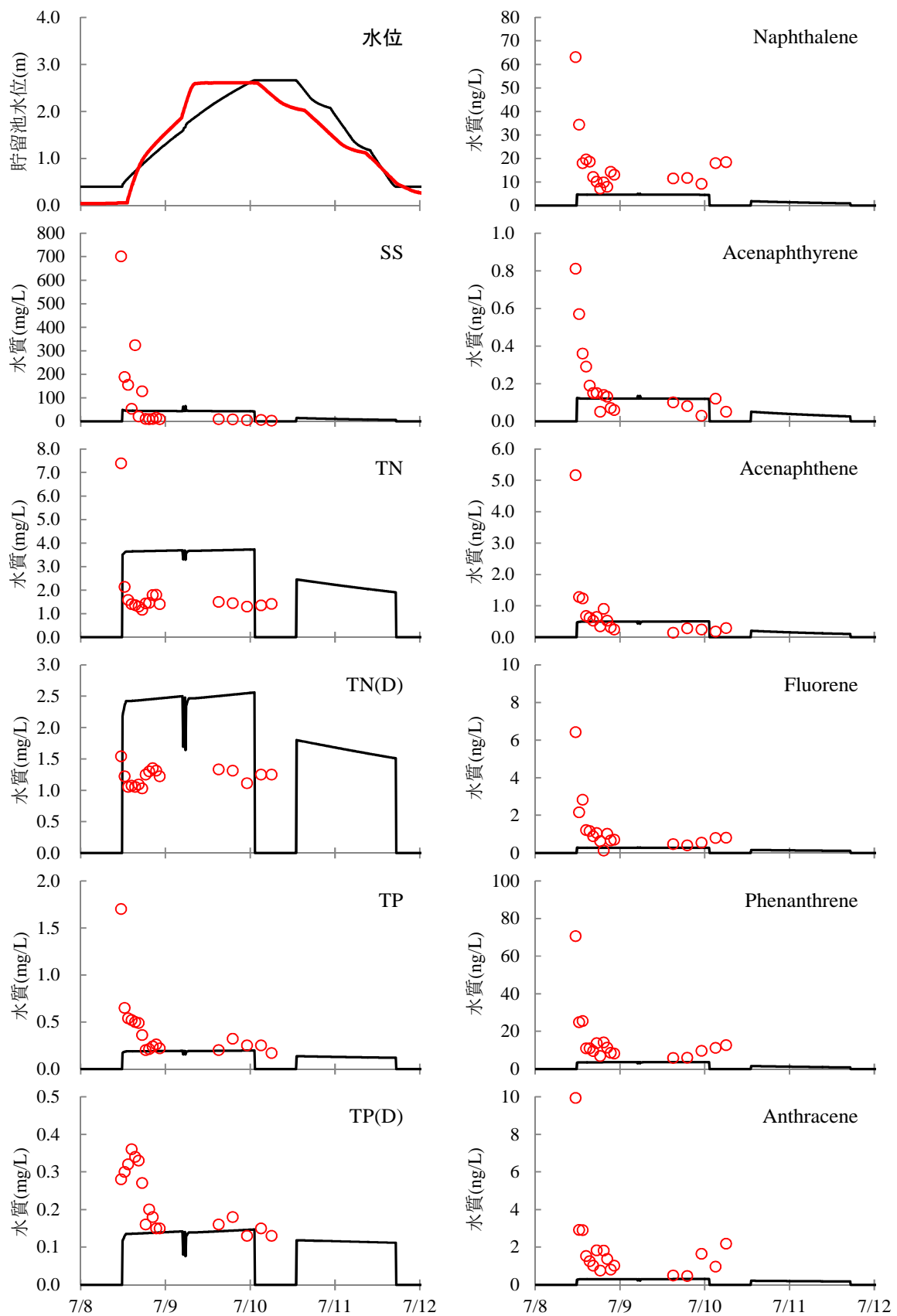


図 4-17-1 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 7 月 8 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

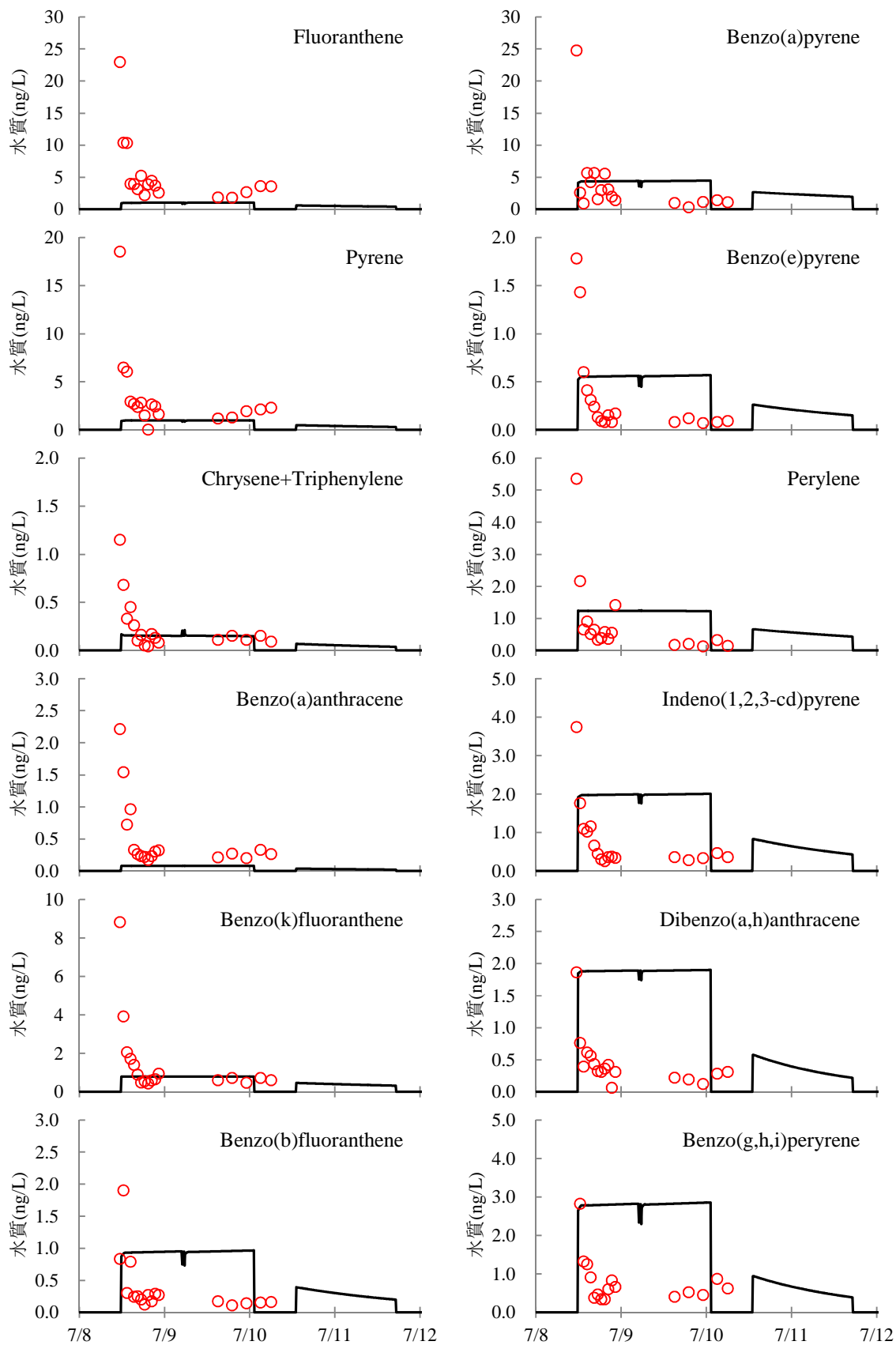


図 4-17-2 2008 年の一時貯留池水質に関するシミュレーションの再現性の検討 (2008 年 7 月 8 日出水時)

— 予測水質    ○ 実測水質

## 4.5 結果と考察

### 4.5.1 結果

水量のシミュレーション結果を図 4-18 に示す。2010 年には 18 回、M 川より河川水が取り込まれた。その結果、M 川流域から流出してきた水量と負荷量およびそのうち一時貯留池への流入量と一時貯留池からの流出量を算定し、整理したものを表 4-9 に示す。表 4-9 には、M 川から一時貯留池へと流入した水量や負荷量の比率（取り込み率）と一時貯留池において除去された水量や負荷量の比率（貯留池除去率）を併せて示している。貯留池除去率でみると、沈殿処理の効果が明らかで、濁質に依存する SS、PN、PP では高効率で除去できている。PAHs の除去率は、SS、PN、PP ほどではないものの 56.7～67.2% となっており、やはり高い比率で除去できている結果となった。このように、出水時に一時貯留池が稼働した場合には高い比率で流出負荷の除去が行われている一方で、出水時における M 川から一時貯留池への河川水を取り込み率は 40.3% と半分以下となり低い値であった。そのため、受水域への負荷抑制を意図する場合には、出水時に出来るだけ高頻度で一時貯留池を稼働させる必要があると考える。稼働させる頻度は、降雨量の大小を斟酌して決められるべきであるため、降雨量と除去率の関係について次に考察する。図 4-19 では、各出水における一時貯留池での除去負荷量（一時貯留池流入負荷量と一時貯留池流出負荷量の差）を流域からの流出負荷量で除して、M 川流出負荷量からみた除去率を算定し、各出水における降雨量と比較している。降雨量が大きくなるにつれて、すべての水質項目で除去率が低下していく傾向が認められる。このことから、効率的な流出負荷の抑制を意図して一時貯留池を運転させるには、比較的小さな降雨から頻度よく稼働させた方がよいことがわかる。こうすることにより、流出が長時間継続するような大きな降雨の場合には、一時貯留池が 2 回稼働することも期待できる。

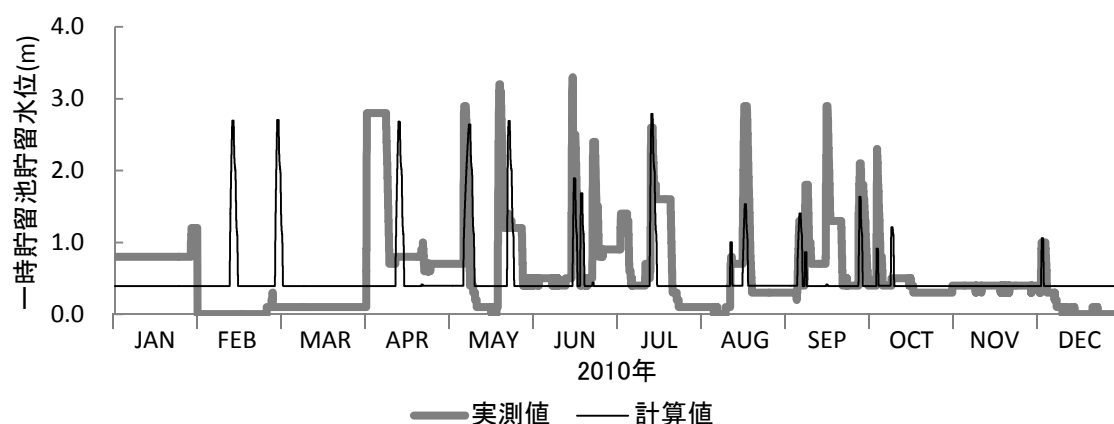


図 4-18 一時貯留池水量に関するシミュレーション結果

表 4-9 シミュレーションによる年間の水量と負荷量についての検討

	水量	SS	DN	PN	DP	PP	2-3ring PAHs	4ring PAHs	5-6rings PAHs
	( $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ )	(ton/year)				(g/year)			
守山川流量	3704	216	7.8	5.5	0.4	0.3	34.5	7.7	50.3
出水時	1207	103	1.6	2.5	0.1	0.1	11.0	2.2	14.0
平水時	2497	113	6.2	3.1	0.4	0.1	23.5	5.5	36.3
一時 貯留池									
流入量	268	14.47	0.56	0.38	0.030	0.017	2.49	0.56	3.66
流出量	268	3.38	0.38	0.11	0.025	0.004	0.83	0.24	1.37
取り込み率(*)	22.21	14.09	34.22	15.42	41.41	13.79	22.67	25.03	26.12
貯留池除去率(**)	0.0	76.7	32.6	70.8	16.1	74.5	66.7	56.4	62.6

\*取り込み率＝一時貯留池流入量／守山川流入量 $\times 100$

\*\*貯留池除去率＝(一時貯留池流入量－一時貯留池流出量)／一時貯留池流入量 $\times 100$

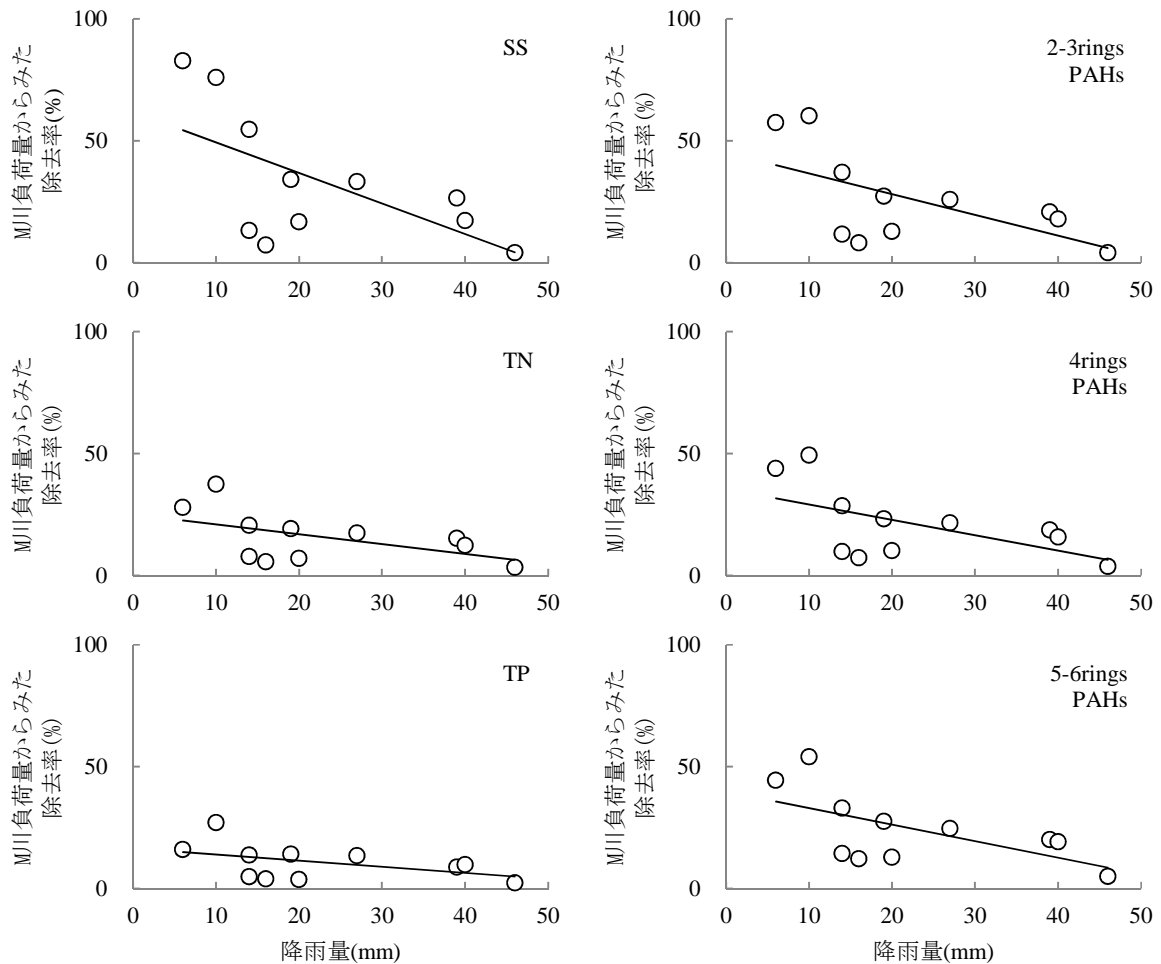


図 4-19 M 川から見た出水時における汚濁物の除去率と降雨量の関係

#### 4.5.2 年間降雨量の多寡による除去特性

シミュレーションに使用された 2010 年の年間降雨量は 1496.5mm であり、最近 20 年での大津気象台における年間降雨量と比較すると平均的な降雨量であった（表 4-10）。しかし、表 4-10 の通り降雨量は年により一定ではないことから、降雨量の多寡による除去特性について検討を行うこととした。ここでは、最近 20 年で最も降雨量の少ない 1994 年のデータと、最も降雨量の多い 2003 年のデータを検討に用い、比較することとした。使用した 1994 年と 2003 年の大津気象台の降雨量データは、時間降雨量であった。そのため、時間降雨量を中央にピークのある 10 分降雨量へ変換した。また、水量シミュレーションでは降雨による除去特性を見るため濁度は 20 度で一定であるとした。1994 年と 2003 年の水量シミュレーション結果を図 4-20 と図 4-21 に、負荷量を整理したものを表 4-11 と表 4-12 に示す。1994 年では 17 回一時貯留池が稼働し、2003 年では 31 回稼働していた。1994 年に対して 2003 年は年間降雨量では 2.1 倍となり、稼働回数は 1.8 倍となった。このとき、除去量は SS で 1.9 倍、PAHs では 1.7～1.8 倍となり稼働回数に比例して除去できることが分かった。河川の濁度が一定であると仮定した場合には、降雨量が倍になれば稼働回数もほぼ倍になることが分かった。しかし、実際には降雨量の多寡により濁度が変動していくため年間降雨量が倍になった場合には稼働回数は倍以上に増えるであろうと考えられる。

表 4-10 最近 20 年での年間降雨量

年	降水量 mm/y
1993	1907.0
1994	926.0
1995	1607.0
1996	1673.0
1997	1601.0
1998	1863.0
1999	1441.0
2000	1306.0
2001	1297.0
2002	1060.0
2003	1950.0
2004	1743.0
2005	1170.0
2006	1790.0
2007	1349.0
2008	1540.0
2009	1421.5
2010	1812.0
2011	1719.0
2012	1582.5
最大	1950.0
平均	1537.9
最少	926.0



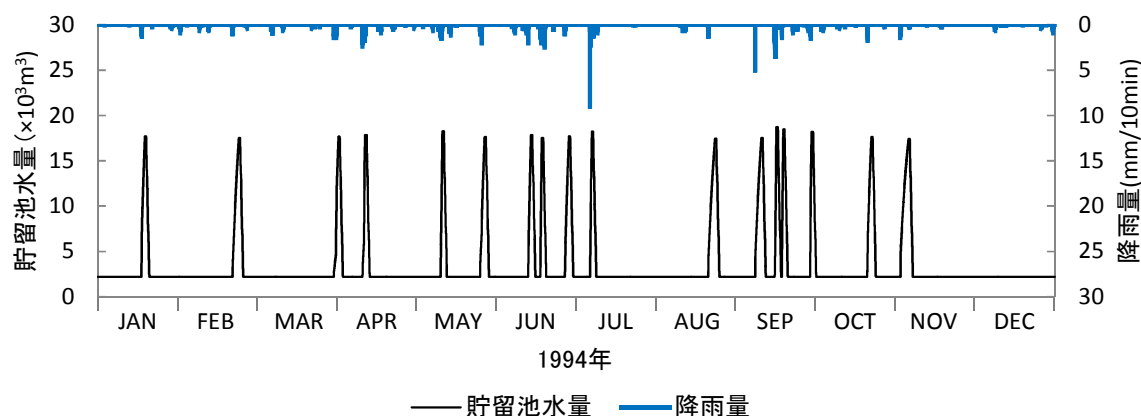


図 4-20 年間降雨量の少ない 1994 年における水量シミュレーション結果

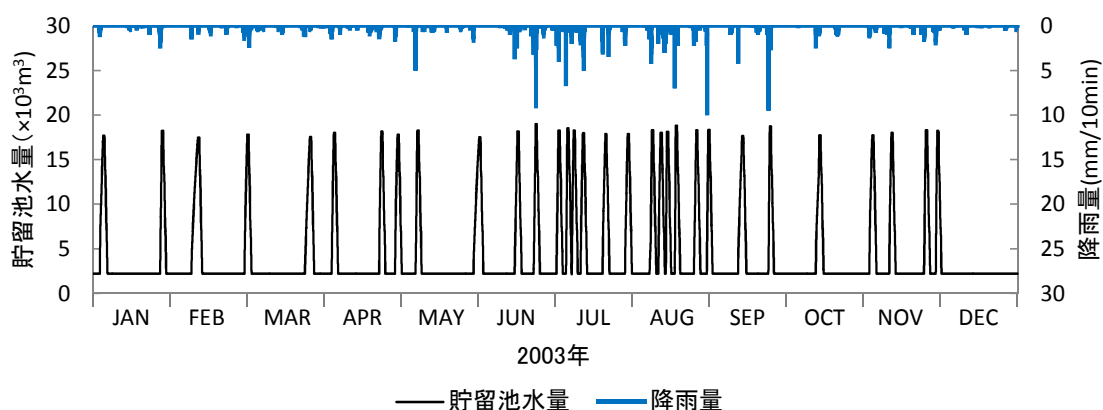


図 4-21 年間降雨量の多い 2003 年における水量シミュレーション結果

表 4-11 年間降雨量の少ない 1994 年における負荷量シミュレーション結果

	水量 ( $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ )	SS	DN	PN	DP	PP	2-3ring PAHs	4ring PAHs	5-6rings PAHs
		(ton/year)					(g/year)		
守山川流量	2183	117	5.1	3.0	0.292	0.138	20.5	4.7	30.8
出水時	259	52	1.0	1.3	0.045	0.063	6.0	1.2	7.9
平水時	1924	64	4.1	1.8	0.246	0.075	14.5	3.5	22.9
一時流入量	250	14.05	0.58	0.37	0.031	0.017	2.47	0.56	3.67
貯留池流出量	250	3.41	0.39	0.11	0.026	0.004	0.84	0.25	1.39
取り込み率(*)	96.43	26.81	59.09	29.08	69.63	26.30	41.20	45.01	46.65
貯留池除去率(**)	0.0	75.7	32.6	69.9	16.2	73.6	66.1	55.9	62.2

\*取り込み率＝一時貯留池流入量／守山川流入量 $\times 100$

\*\*貯留池除去率＝(一時貯留池流入量－一時貯留池流出量)／一時貯留池流入量 $\times 100$

表 4-12 年間降雨量の多い 2003 年における負荷量シミュレーション結果

	水量 ( $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ )	SS	DN	PN	DP	PP	2-3ring PAHs	4ring PAHs	5-6rings PAHs
		(ton/year)					(g/year)		
守山川流量	4790	294	9.6	7.4	0.510	0.349	44.5	9.9	63.9
出水時	1697	146	2.4	3.5	0.105	0.176	15.5	3.2	19.8
平水時	3093	148	7.2	4.0	0.405	0.173	29.0	6.7	44.1
一時流入量	445	27.30	1.00	0.71	0.052	0.032	4.56	1.02	6.64
貯留池流出量	445	7.38	0.71	0.24	0.045	0.009	1.71	0.49	2.76
取り込み率(*)	26.22	18.72	42.45	20.46	49.54	18.33	29.46	32.21	33.56
貯留池除去率(**)	0.0	73.0	28.8	66.8	13.2	70.7	62.5	52.1	58.5

\*取り込み率＝一時貯留池流入量／守山川流入量 $\times 100$

\*\*貯留池除去率＝(一時貯留池流入量－一時貯留池流出量)／一時貯留池流入量 $\times 100$

### 4.5.3 沈降時間を変数とした除去量の変化

このように一時貯留池を、頻度よく稼働させるためには、稼働のあった出水の次の降雨に備えるため、一時貯留池での静置時間を短縮する必要がある。そこで、2010年9月27日の出水時を例として、静置時間を変えることによる汚濁物の除去率の変化について、シミュレーションを行った。シミュレーションでは、静置時間を本施設で計画されている12時間から、それぞれ6時間、3時間と短縮させた場合を想定した。結果を表4-13に示す。ここにおける除去率は、表4-9における貯留池除去率と同じ算定式によって求められたものである。静置時間が12時間の場合には、SSやPPなど懸濁成分では60%以上、PAHsでは50%程度の除去率となり、これらは出水時汚濁物流出調査における実測値（3章）とおおむね近い値であった。静置時間を、12時間から6時間、3時間と短くするにつれて徐々にそれらの除去率が低下するものの、静置時間が3時間となっても除去率50%ないし40%程度までは期待できることがわかる。したがって、静置時間を3～6時間程度にまで短縮してでも、一時貯留池の回転率を高める運転の方が効率的な流出負荷の抑制となることが推察される。しかし、静置時間を12時間から6時間、3時間とし1年間シミュレーションしても稼働回数は18回のままであった。以上から、静置時間を短くした分、稼働1回あたりの除去率が低下し、年間の除去量を引き下げる結果となった。

表 4-13 一時貯留池における静置時間と流入・流出負荷量の関係 (2010/9/27 出水時)

		SS	DN	PN	DP	PP	2-3ring PAHs	4ring PAHs	5-6rings PAHs
流入負荷量(kgPAHsのみmg)		1271	43	32	2.3	1.7	179	38	355
12時間	流出負荷量(kgPAHsのみmg)	404	31	12	1.9	0.6	76	20	153
静置	貯留池除去率(%)	68.2	27.5	62.0	13.7	65.9	57.5	48.1	57.0
6時間	流出負荷量(kgPAHsのみmg)	491	33	14	2.0	0.7	87	22	174
静置	貯留池除去率(%)	61.4	24.7	55.5	12.5	59.2	51.4	42.8	51.1
3時間	流出負荷量(kgPAHsのみmg)	541	33	15	2.0	0.8	93	23	186
静置	貯留池除去率(%)	57.4	23.2	51.8	12.0	55.3	48.0	39.9	47.7

#### 4.5.4 施設稼働条件を変数とした除去量の変化

施設の稼働条件を現在の時間降雨量 5mm/h と濁度 20 度を段階的に変更し、最適な施設稼働条件を設定する。降雨条件は 7mm, 5mm, 3mm, 1mm の 4 段階、濁度条件は 25 度, 20 度, 15 度, 10 度の 4 段階設けた。稼働回数、一時貯留池処理水量と SS 除去量に関して、降雨量と濁度を段階的に変更した結果を表 4-14～表 4-16 に示す。表 4-14～表 4-16 において濁度条件だけを変更させた場合の変化率を表 4-17 に、降雨条件だけを変更させた場合の変化率を表 4-18 に示す。この各倍率が最も大きくなるのが濁度条件では 15 度に変更した場合、降雨条件では 3.0mm に変更させた場合であった。以上から、一時貯留池を運転させる稼働条件で最も効率が良いのは時間降雨量 3.0mm で濁度 15 度の場合であると考えられる。そこで、稼働条件を降雨量 5mm/h、濁度 20 度から降雨量 3mm/h、濁度 15 度へと変更させると一時貯留池の稼働回数は 18 回から 33 回へと増加し（図 4-22）、除去率も増加した（表 4-19）。稼働回数が増えると考えられる梅雨を含んだ 5 月末までの稼働回数が、極端に増加したことが要因と考えられる。そのため、施設での除去量の増加には、この時期（5 月末まで）の期間において頻度良く稼働をさせることが必要と考えられる。

表 4-14 降雨と濁度の条件を変化させた場合の年間稼働回数 (回)

稼働回数		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	10	12	13	15
	5.0	16	18	18	22
	3.0	27	28	31	33
	1.0	34	35	39	40

表 4-15 降雨と濁度の条件を変化させた場合の年間処理水量 (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/year)

処理水量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	46.9	46.9	46.9	61.8
	5.0	78.3	94.4	94.4	123.7
	3.0	187.5	188.3	203.4	200.6
	1.0	249.0	274.4	275.6	287.8

表 4-16 降雨と濁度の条件を変化させた場合の年間 SS 除去量 (ton/year)

SS除去量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.99	1.99	1.99	2.58
	5.0	3.21	3.85	3.89	4.96
	3.0	7.39	7.46	8.02	8.03
	1.0	10.07	11.24	11.35	11.96

表 4-17 濁度条件を変更した場合の変化率

稼働回数		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.20	1.08	1.15	
	5.0	1.13	1.00	1.22	
	3.0	1.04	1.11	1.06	
	1.0	1.03	1.11	1.03	

処理水量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.00	1.00	1.32	
	5.0	1.21	1.00	1.31	
	3.0	1.00	1.08	0.99	
	1.0	1.10	1.00	1.04	

SS除去量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.00	1.00	1.30	
	5.0	1.20	1.01	1.28	
	3.0	1.01	1.08	1.00	
	1.0	1.12	1.01	1.05	

表 4-18 降雨条件を変更した場合の変化率

稼働回数		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.60	1.50	1.38	1.47
	5.0	1.69	1.56	1.72	1.50
	3.0	1.26	1.25	1.26	1.21
	1.0				

処理水量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.67	2.01	2.01	2.00
	5.0	2.40	1.99	2.15	1.62
	3.0	1.33	1.46	1.35	1.43
	1.0				

SS除去量		濁度条件(度)			
		25.0	20.0	15.0	10.0
条件 降雨量 (mm)	7.0	1.62	1.94	1.96	1.92
	5.0	2.30	1.94	2.06	1.62
	3.0	1.36	1.51	1.41	1.49
	1.0				

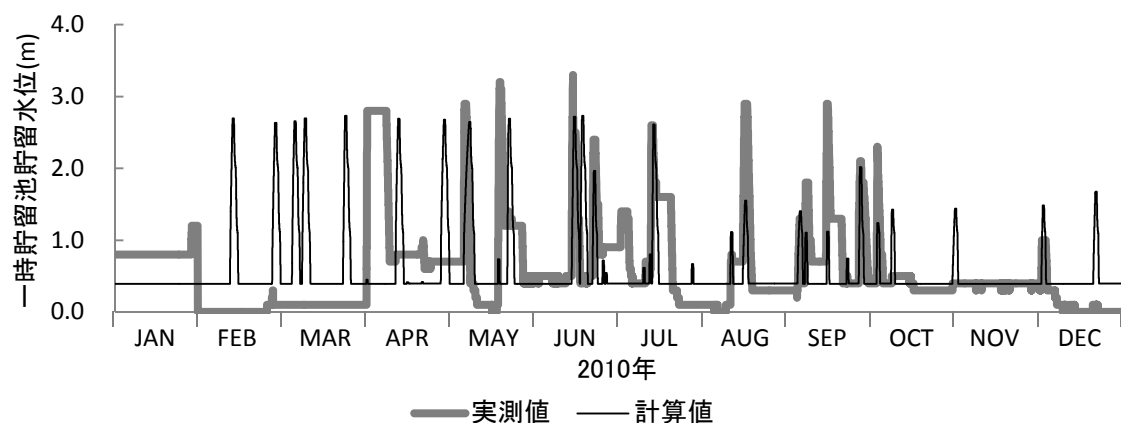


図 4-22 一時貯留池水量に関するシミュレーション結果（3mm15 度）

表 4-19 シミュレーションによる年間の水量と負荷量についての検討（3mm15 度）

		水量	SS	DN	PN	DP	PP	2-3ring PAHs	4ring PAHs	5-6rings PAHs
		( $\times 10^3\text{m}^3/\text{year}$ )	(ton/year)					(g/year)		
守山川	流量	3704	216	7.8	5.5	0.4	0.3	34.5	7.7	50.3
	出水時	1207	103	1.6	2.5	0.1	0.1	11.0	2.2	14.0
	平水時	2497	113	6.2	3.1	0.4	0.1	23.5	5.5	36.3
一時 貯留池	流入量	486	25.36	1.04	0.67	0.056	0.030	4.52	1.02	6.71
	流出量	486	5.75	0.71	0.19	0.048	0.007	1.48	0.44	2.48
取り込み率(*)		40.26	24.69	63.97	27.21	78.48	24.13	41.20	45.82	47.92
貯留池除去率(**)		0.0	77.3	31.9	71.5	14.6	75.2	67.2	56.7	63.0

\*取り込み率＝一時貯留池流入量／守山川流入量×100

\*\*貯留池除去率＝(一時貯留池流入量－一時貯留池流出量)／一時貯留池流入量×100

#### 4.6 まとめ

沈殿処理による流域からの汚濁物流出抑制を、M 川河川浄化施設の出水時一時貯留池を例にシミュレーション解析を行った。結果を以下にまとめる。

- ① 流域から流出する水量と負荷量および一時貯留池における沈殿除去される負荷量をモデル化し、数値シミュレーションを行った。
- ② PAHs のような細かい粒子に依存する疎水性の汚濁物質についても、貯留沈殿による効果が期待できることを示した。
- ③ M 川負荷量から見た一時貯留池での除去量は、降雨量と負の相関があった。
- ④ 受水域への負荷抑制を意図する場合には、一時貯留池において小規模の降雨から高頻度で出水を取り込みむような運転することが有用であることが示唆された。
- ⑤ 施設の稼働条件は時間降雨量 3mm/h、濁度 15 度で運転することが最も効率よいことが示唆された。

#### 参考文献

- 1) たとえば, 和波一夫, 嶋津暉之: 都市河川の雨天時汚濁の実態, 水環境学会誌, 25(9), pp.529-532, 2002.
- 2) たとえば, Ichiki A., Yamada K., and Onishi T. : Prediction of runoff pollutant load considering characteristics of river basin, Water Science and Technology, 33(4-5), pp.117-126, 1996.
- 3) Ichiki A., Ido F. and Minami T. : Runoff characteristics of highway pollutants based on a long-term survey through a year, Water Science and Technology, IWA, 57(11), pp.1769-1776, 2008.
- 4) Murakami, M., Nakajima, F. and Furumai, H. : Modelling of Runoff Behaviour of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Roads and Roofs, Water Research, 20(38), pp.4475-4483, 2004.
- 5) 市木敦之, 山田淳: 粒度特性を考慮した非特定汚濁物の流出管理に関する研究-雨水滞水池を対象として-, 環境システム研究, 21, pp.436-444, 1993
- 6) 滋賀県: マザーレイク 21 計画,  
<http://www.pref.shiga.jp/biwako/koai/mother21/top.html>, 2000.
- 7) 澤田育則, 市木敦之, 浅野匡洋, 大久保卓也, 國松孝男, 村地弘: 一時貯留池と植生浄化施設を組み合わせた汚濁物流出管理に関する事例研究, 土木学会論文集 G (環境), 68(6), pp.II\_47-II\_58, 2012
- 8) USEPA OPPTS Harmonized Test Guidelines. ,  
[http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publications/Test\\_Guidelines/series850.htm](http://www.epa.gov/ocspp/pubs/frs/publications/Test_Guidelines/series850.htm).



## 第5章 結論

### 5.1 本論文の成果

本研究では、農地からの汚濁流出と流末での流出管理施設において調査を行い、その結果から流末での流出管理施設における数値解析を行った。以下に研究の成果を示す。

#### 1) 農地からの汚濁流出に関する研究

2007年から2009年に実験小流域において、灌漑期の詳細な実態調査を行い、汚濁物質の挙動と収支を検討した。また、実態調査の結果をもとに2008年と2009年において水田の詳細な汚濁物質収支の検討を行った。

① すべての排水路水質で「I代かき・田植え時期」ピークを記録した。この時期のSS粒径は他の時期のものより小さい。窒素やリン等を多く含んだ容易に沈殿しない微細な粒子が受水域の水質に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。

② TNにおける浸透水質では灌漑期の前半に上昇し後半は一定の値に落ち着き、TPやCODではTNと反対に灌漑期の後半に水質が上昇する傾向が見られた。

③ 水田の流出入要素を細かく分けて水田の収支をとって正味排出負荷量を算定すると、日数では10%程度しかない代かき・田植え時期の負荷流出割合が高いものとなり、特にSSでは8割以上、他の項目でも30%~48%をこの期間に流出させている結果となった。このことから、灌漑期間において最も大きい流出要因であることが確認された。

④ 水田小流域内において環境こだわり農業を実施し施肥量を減らすことで、流出する負荷量を一定削減できることが確認された。

#### 2) 流域からの流出と流末施設での流出管理に関する研究

M川河川浄化施設の平水時・出水時の汚濁物の負荷量収支について調査した。

① 平水時では、前処理施設・植生浄化施設では水質を明確に低減させるとはいえないものの、下げ得ることが示唆された。

② 出水時一時貯留池ではどの水質項目も、おおむね流出負荷量を一定にして排出していた。しかし、流入負荷量が多い場合にはあまり変化せずに流出させてしまう可能性がある。

③ 出水時における植生浄化施設では滞留時間が非常に短くなってしまうため流入したものがほぼそのまま流出していた。

④ 年間の流入負荷量ではSSTN,TPでは平水時が大部分を占めたが、5-6ringsPAHsを除くPAHsでは出水時が大部分を占めた。

⑤ 除去量のほとんどが一時貯留池に依存しており、SSでは全体の除去負荷量の7割強に及んだ。

#### 3) 数値解析を用いた流出抑制効果に関する研究

沈殿処理による流域からの汚濁物流出抑制を、M川河川浄化施設の出水時一時貯留池を例にシミュレーション解析を行った。

① 流域から流出する水量と負荷量および一時貯留池における沈殿除去される負荷量をモデ



ル化し、数値シミュレーションを行った。

② PAHs のような細かい粒子に依存する疎水性の汚濁物質についても、貯留沈殿による効果が期待できることを示した。

③ M 川負荷量から見た一時貯留池での除去量は、降雨量と負の相関があった。

④ 受水域への負荷抑制を意図する場合には、一時貯留池において小規模の降雨から高頻度で出水を取り込みむような運転することが有用であることが示唆された。

⑤ 施設の稼働条件は時間降雨量 3mm/h、濁度 15 度で運転することが最も効率よいことが示唆された。

## 5.2 課題と今後の展望

### 1) 農地からの汚濁流出に関する研究

灌漑期における農地からの汚濁流出に関する知見は、調査の頻度等を問わなければ数多く存在する。しかし、調査頻度が高く、広域で、複数年にわたって調査された事例はほとんどない。以上の条件で流出要因を細かに特定し、さらに環境配慮型の農業が汚濁負荷流出の削減の評価を行った。灌漑期の代かき時期に多量の汚濁負荷が流出している一方で、非灌漑期に営農されていない農地から降雨による汚濁負荷流出が多量に起こっている。そのため、この非灌漑期における汚濁負荷流出の定量化を試みたいと考えている。

### 2) 流域からの流出と流末施設での流出管理に関する研究

流末での流出管理に関する研究については、栄養塩類を対象とするものが多く、微量有害物質を対象とする研究事例は数多くは存在しなかった。そのため、このような施設、特に出水時一時貯留池による沈殿除去により PAHs を水域へ流出させないようにコントロールできることを明らかにした。今後は、濁質としてトラップした負荷が沈殿池内でどのような挙動で沈殿していくか。また、貯留池内の底質がどのような分布になっているかなどの解明を試みる。

### 3) 数値解析を用いた流出抑制効果に関する研究

今回は降雨量や静置時間などを中心に施設の稼働条件の最適化に関して議論した。一方で、2 章で述べたように、農地からは代かきなどにより多量の負荷が細かい粒子に付着して降雨に係らず流出してくる。この負荷削減には一時貯留は有用であり、このモデルを簡単に当てはめ削減効果について議論することができる。そこで、このモデルを用いて、代かき時期などの細かい粒子とともに流出する負荷の削減効果を検討しようと考えている。

## 謝辞

本論文は、著者が立命館大学理工学部環境システム工学科ならびに立命館大学大学院理工学研究科の在学中に取りまとめたものです。私が研究を開始した大学4年生から約7年間、多くの方々の協力を得て、ここに博士論文を完成させる事ができました。

本研究遂行に当たり、立命館大学理工学部 市木敦之教授には環境政策研究室配属以来、時には厳しく、時には優しく理解の悪い僕に辛抱強くご指導を賜りました。投稿論文を作成しチェックして頂くたびに、自分の語学力のなさを痛感しました。また、バスケットボールチームに誘って頂いたり、ごはんに連れて行っていただいたりとお世話になりっぱなしでした。遊びにも勉強にも全力で挑む市木先生のもとだからこそ、これだけ長い間研究活動を続けてこられたと思います。心より厚く御礼申し上げます。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 大久保卓也先生には、専門分野に関する知識から解析手法をご教授いただきました。さらに、ご自身で採取されている野洲川のデータを快くご提供頂き、心より感謝いたします。また、土地改良区へのヒアリングへご同行して頂いたり、農業技術振興センターの方々と勉強会に招待して頂いたり、大変お世話になりました。

國松孝男先生には、研究室のゼミにご参加いただき、貴重なご意見と、少しのお褒めの言葉を賜りました。フィールド調査では事細かに基礎から教えていただきました。飲み会では、人生の先輩としていろいろなことを教えていただきました。先生のご自宅でごちそうになった串カツ、とてもおいしかったです。ありがとうございました。

立命館大学理工学部 里深好文教授、神子直之教授には、本論文の副査を担当していただき、大変貴重な意見をいただきました。深く感謝いたします。

南櫻農業生産組合組合長をはじめ、組合のみなさまには調査の場を提供していただくだけでなく、作付けや水路構造に関しての質問にもやさしく答えていただくなど、ご理解、ご協力いただき誠にありがとうございました。特に組合長には事細かに対応していただきました。組合長のお力添えがなければ、研究が成り立たなかったと考えています。ありがとうございました。

滋賀県南部土木事務所 村地弘様、松岡友香様には調査に際するお願いや、研究に係るデータを頂きました。また、わからないことを質問させていただいた際には、お忙しいにもかかわらず、すぐご対応を頂き、大変助かりました。ありがとうございました。

株式会社建設技術研究所ならびに東レエンジニアリング株式会社をはじめとする関係機関各位には研究データの一部をご提供いただきました。これらのデータがなければ本研究は成立しませんでした。感謝いたします。

研究開始から、出井寛志氏、兼近裕子氏には、フィールド調査の基礎やデータ整理の仕方などを教えていただきました。また、北川彩音氏、三谷真也氏とは、時には学校に泊まり解析作業を行ったり、時には一日中の調査にでたり、互いに助け合いながら研究を進めることができました。環境システム工学科で一緒に研究を行った数多くの先輩、同期、後輩たち・・・挙げればきりがありませんが、研究に遊びに、周りのみなさまの支えがあったからこそ、いまここにこうしていただけるのだと思います。ありがとうございました。

最後に、私が大学から 10 年、全部合わせると通算 22 年の充実しすぎた学生生活を送れたのも、両親・祖父母・妹のおかげだと信じています。ありがとうございました。

2013 年 9 月

澤田育則