



2023年 3月24日(オンライン開催)  
令和4年度 水質保全研究助成 成果報告会

# 木津川上流域における降雨の影響 を含めた汚濁負荷特性について

(公財) 琵琶湖・淀川水質保全機構

琵琶湖・淀川水質浄化研究所

類家翔

青蓮寺ダム (2022年4月撮影)

# 琵琶湖・淀川流域について

総流域面積：8,240 km<sup>2</sup>

琵琶湖流域  
3,856 km<sup>2</sup>

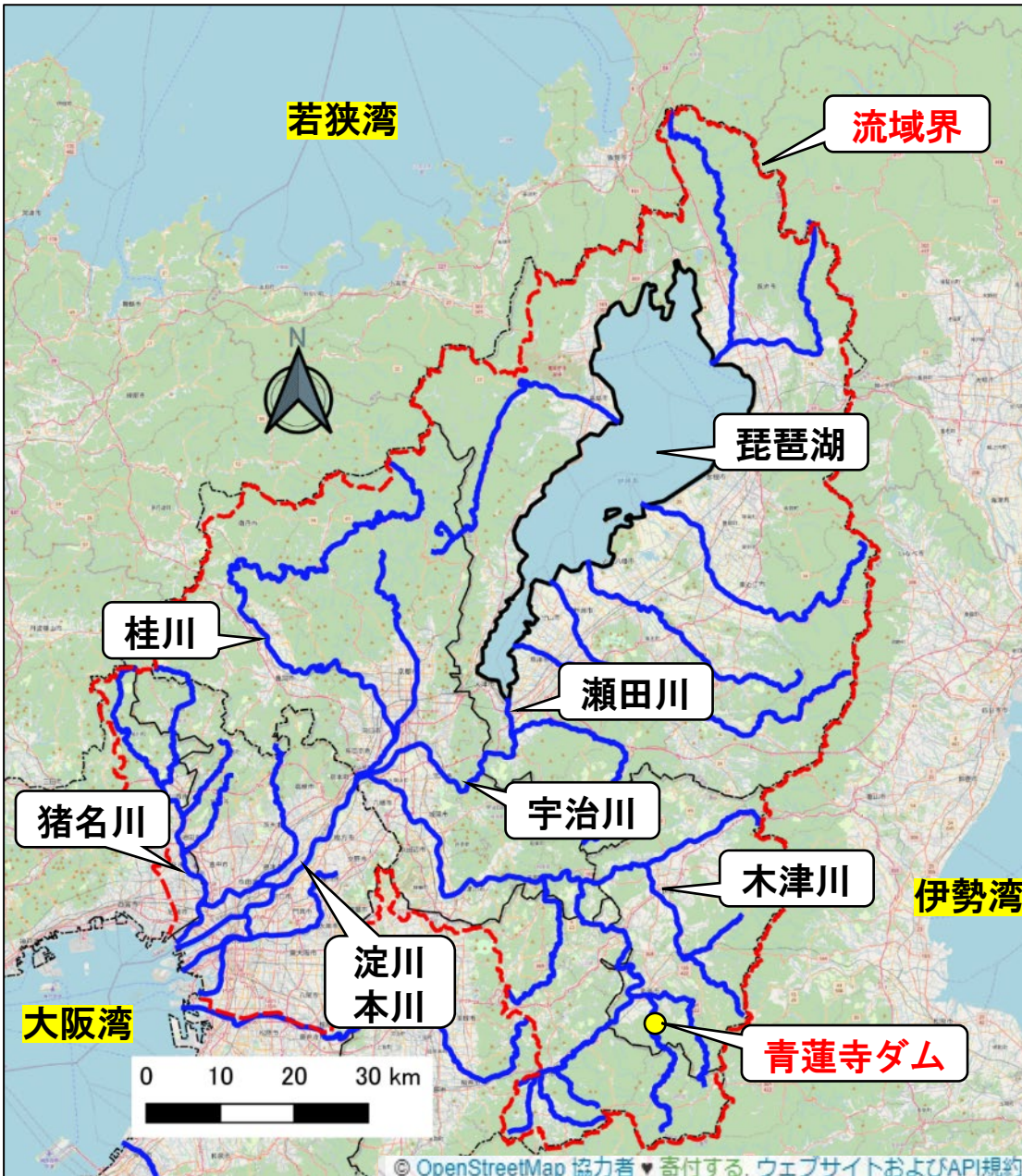
桂川流域 1,100 km<sup>2</sup>    宇治川流域 506 km<sup>2</sup>    木津川流域 1,596 km<sup>2</sup>

三川合流点

淀川本川流域  
807 km<sup>2</sup>

猪名川流域  
383 km<sup>2</sup>

大阪湾



# 桂川・宇治川・木津川の三川合流地点



木津川

桜の名所

宇治川

三川合流さくらであい館・展望台からの眺め

# 桂川・宇治川・木津川由来の流量

上流,中流で使用された水は,下流で大半が還元し,反復利用されています。

給水総人口約1,700万人

## ●大阪府・兵庫県利用

水道	75.03
工水	24.03
農水	15.33
雑用水	0.13
維持	80.00

## ●琵琶湖疏水

最大取水量	使用目的	
第1 8.35	水道	9.83以内
第2 15.30	工水	0.004以内
	かんがい	1.10以内
	雑用	6.760以内
計 23.65m <sup>3</sup>	その他	23.65以内



2009年3月末現在の図

単位………**m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>**  
 河川流量………年平均流量

国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所HP「淀川の水利用」より作成

“BYQ水環境レポート-令和3年度(琵琶湖・淀川水質保全機構), pp. 1-13, 2023.”より引用

# 桂川・宇治川・木津川由来の様々な物質の流入量①

三川合流点前後の環境基準点(桂川-宮前橋、宇治川-御幸橋、木津川-御幸橋、淀川本川-枚方大橋(中央))の水質・流量から負荷量を算出(水文水質DB※より10年分データ取得)

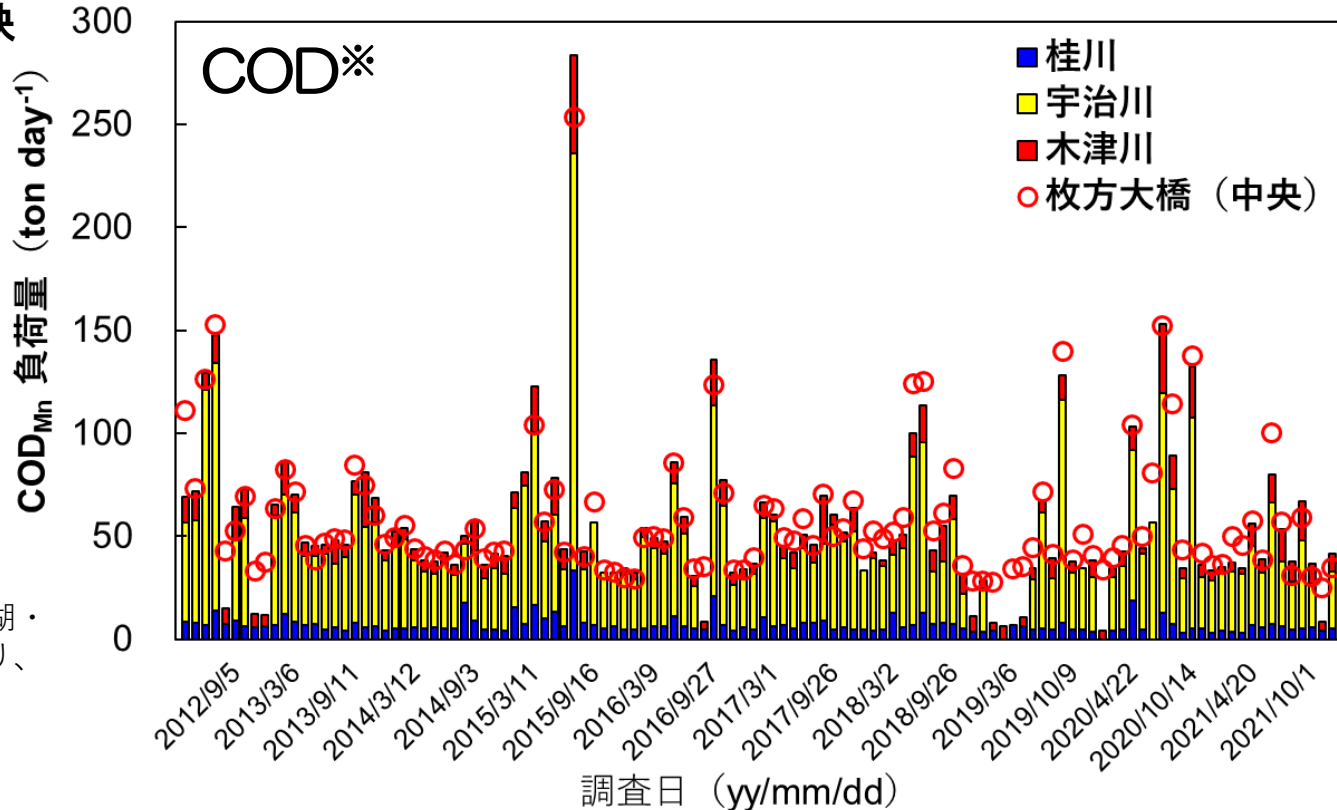
$$\text{日負荷量}(\text{ton day}^{-1}) = \text{濃度}(\text{mg l}^{-1}) \times \text{流量}(\text{m}^3 \text{ s}^{-1}) \times 60 \times 60 \times 24 / 1,000,000$$

※ ただし、採水日が同じデータのみ使用

注:一部データ欠損は未反映



“BYQ水環境レポート-令和3年度(琵琶湖・淀川水質保全機構), pp. 3-22, 2023.”より、一部追記

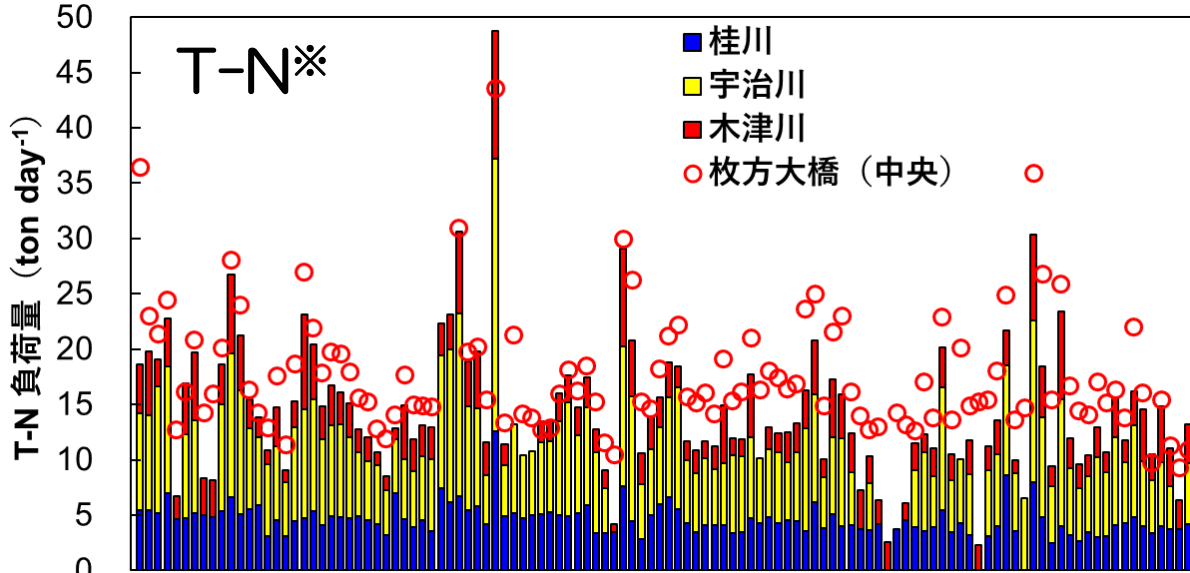


※“水文水質データベース(国土交通省)”より作成

桂川・宇治川・木津川由来のCOD ≒ 淀川本川(枚方大橋)に到達するCOD

三川の内、73 ± 8.1 % (54 ~ 88 %) が宇治川由来のCOD

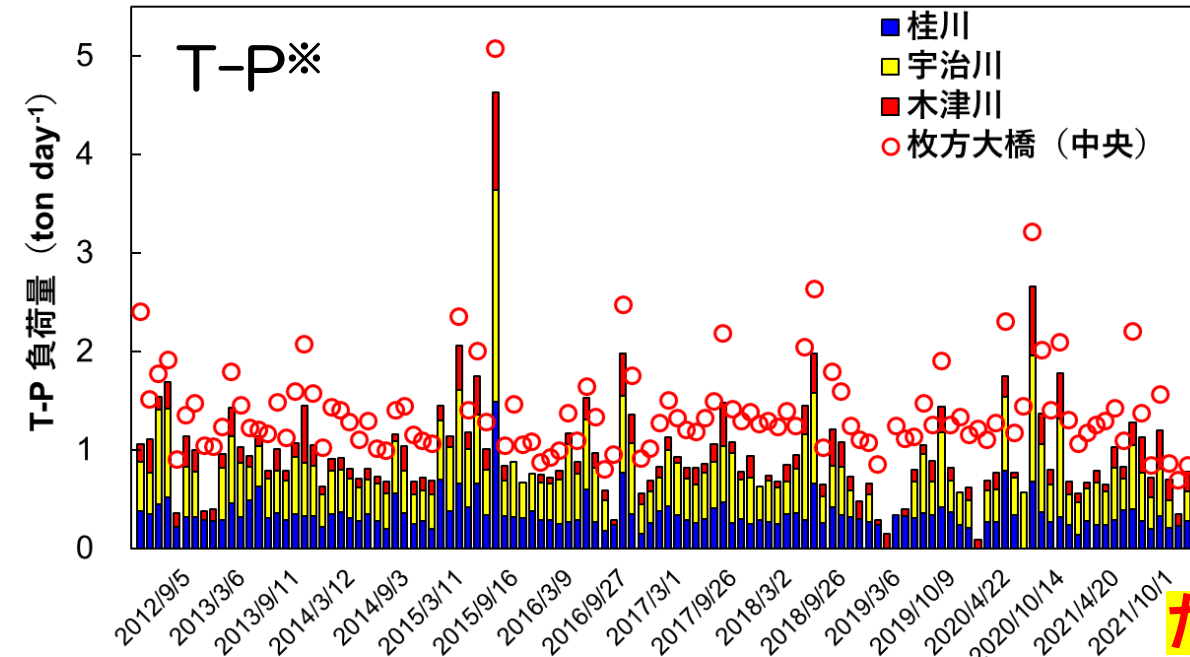
# 桂川・宇治川・木津川由来の様々な物質の流入量②



T-N 約 1.2 倍  
 三川由来 < 淀川本川到達 (枚方大橋)

桂川 由来: 31 ± 5.6 %  
 宇治川由来: 48 ± 5.8 %  
 木津川由来: 21 ± 6.3 %

**桂川・宇治川由来が多い**



T-P 約 1.4 倍  
 三川由来 < 淀川本川到達 (枚方大橋)

桂川 由来: 35 ± 6.7 %  
 宇治川由来: 48 ± 6.7 %  
 木津川由来: 17 ± 6.6 %

**桂川・宇治川由来が多い**

**ただし、これは平水時の話**

# 淀川本川における出水時汚濁負荷(豊里大橋)



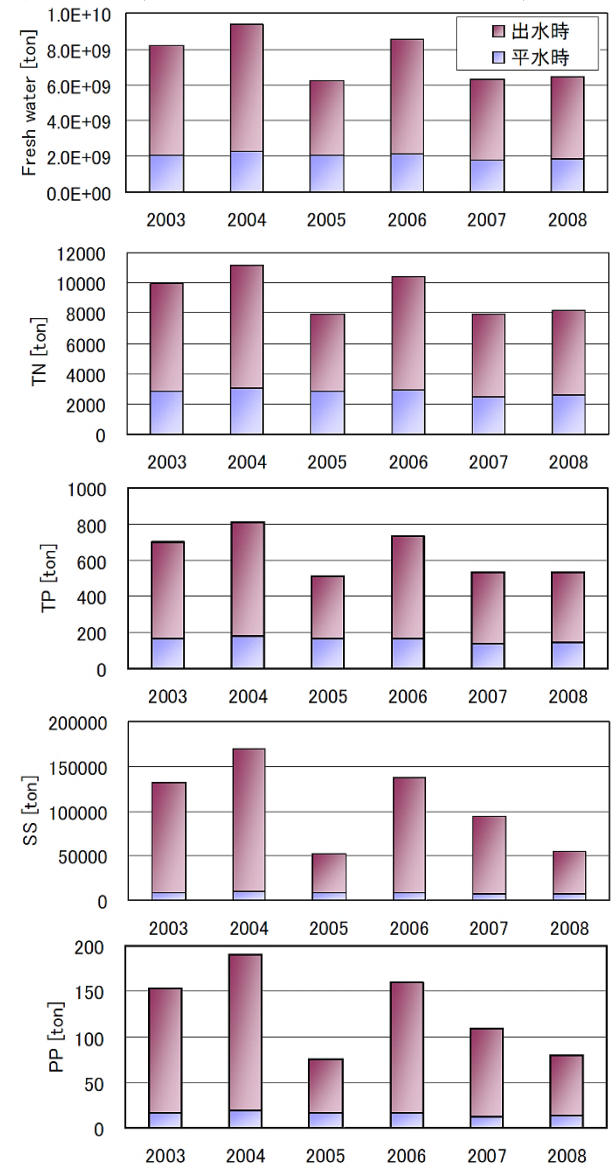
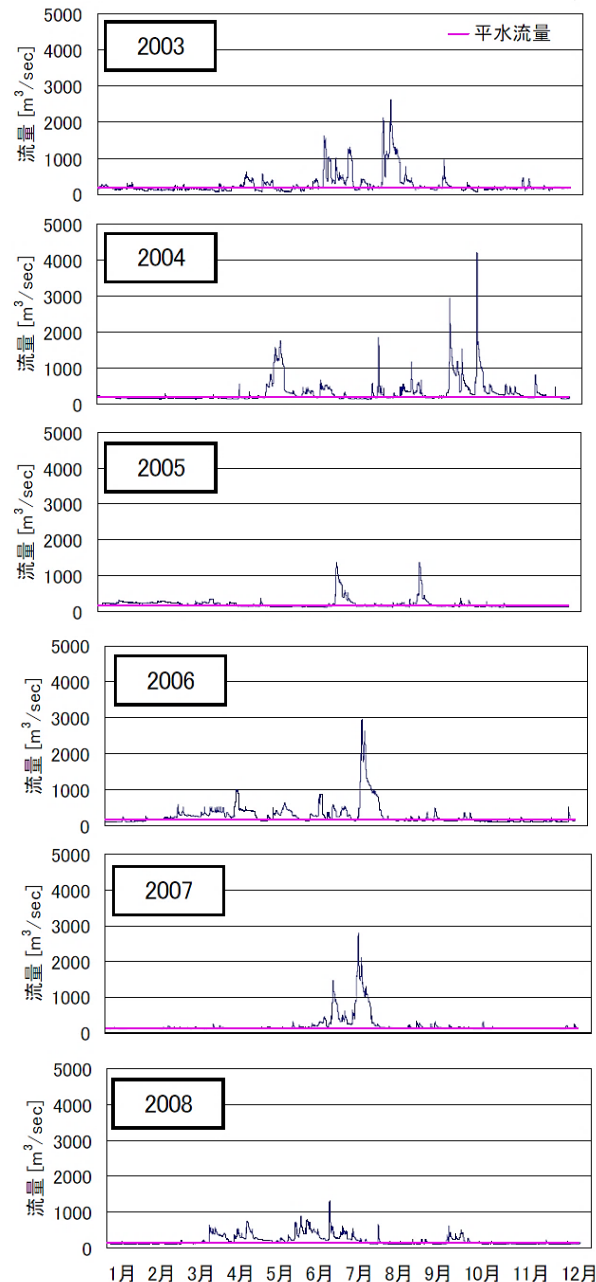
“BYQ水環境レポート-令和3年度(琵琶湖・淀川水質保全機構), pp. 3-22, 2023.”より、一部追記

- 中谷・西田※による調査結果
- 豊里大橋地点の水質調査からL-Q式を作成、流量から年負荷量を算出
- 豊里大橋の流量はDynamic wave modelにより算出
- 平水流量を超える場合を**出水時の負荷**として算出

**出水時の負荷量が非常に多い(6割以上)**

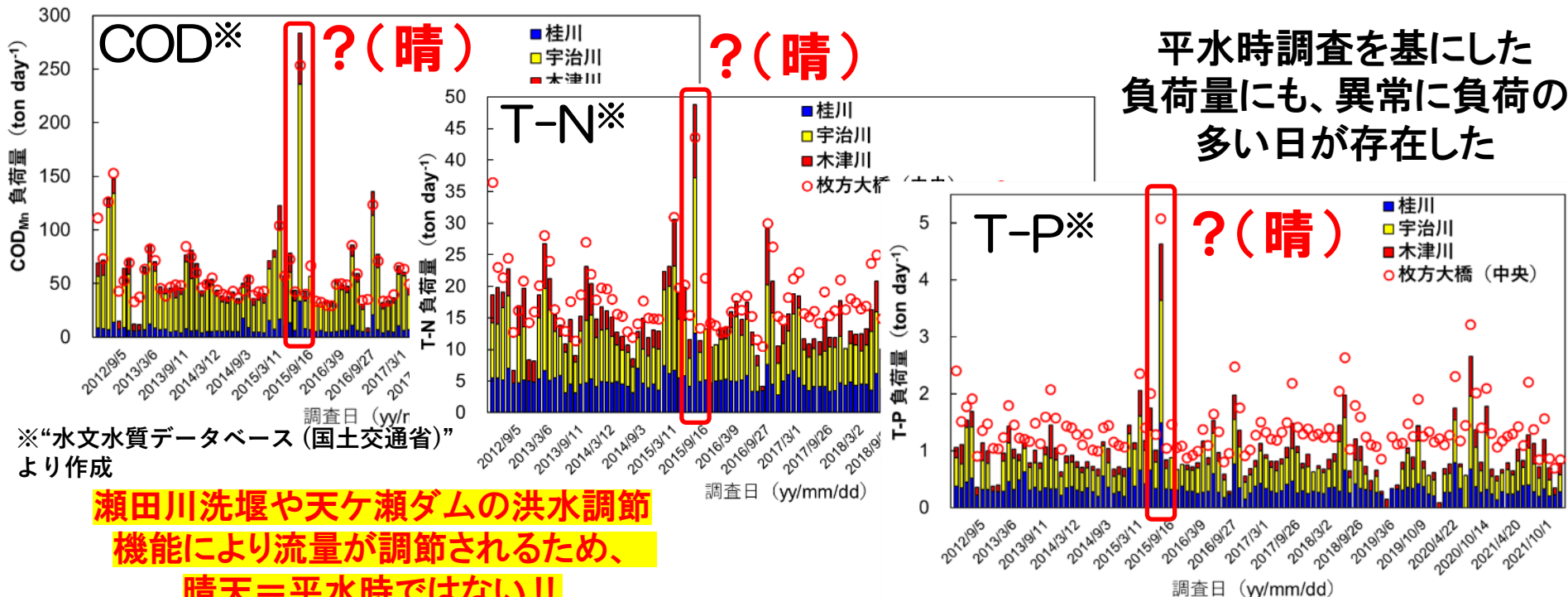
**ただし、必ずしも天候と一致するわけではない**

※中谷・西田(2010)水工学論文集, 54, 1615-1620.



↑: 出水時を含む年負荷量  
 ←: 淀川本川(豊里大橋)の流量

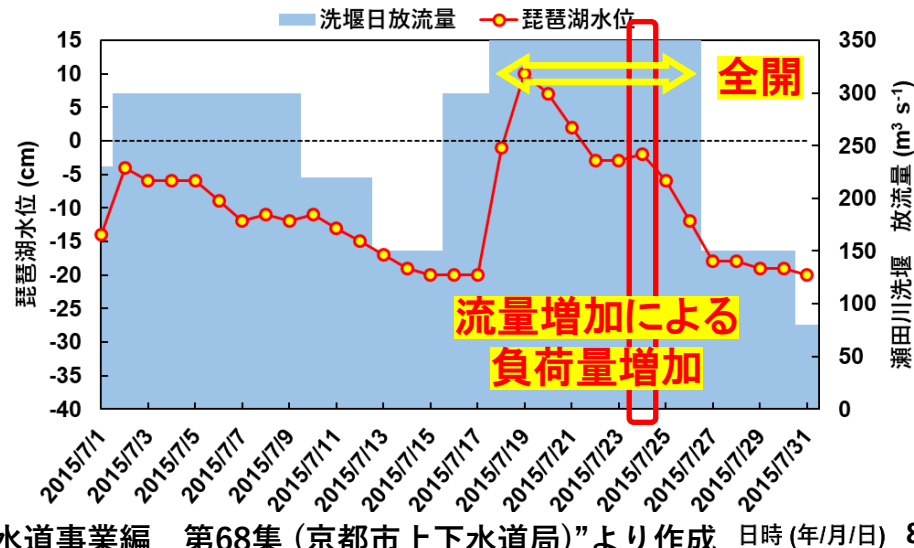
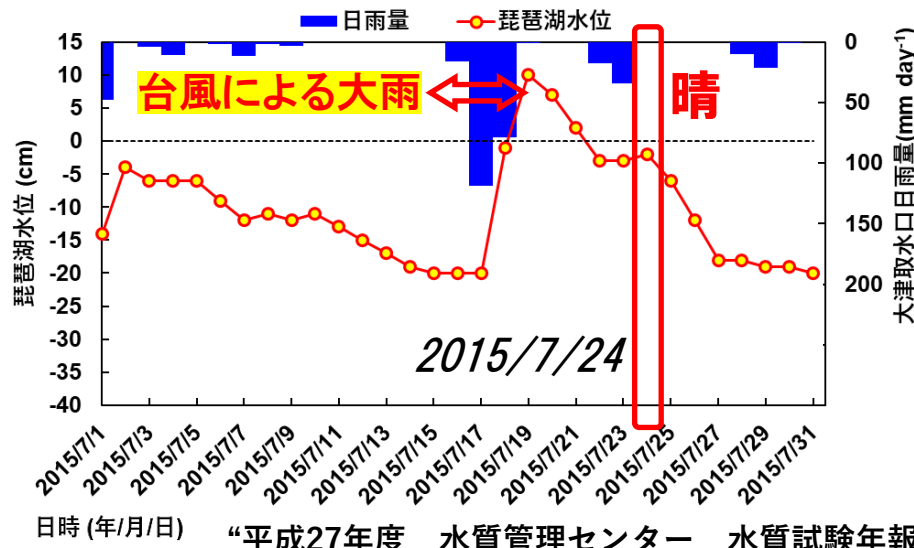
# 宇治川由来の負荷量変動と瀬田川洗堰



平水時調査を基にした負荷量にも、異常に負荷の多い日が存在した

※“水文水質データベース (国土交通省)”より作成

瀬田川洗堰や天ヶ瀬ダムの洪水調節機能により流量が調節されるため、晴天＝平水時ではない!!



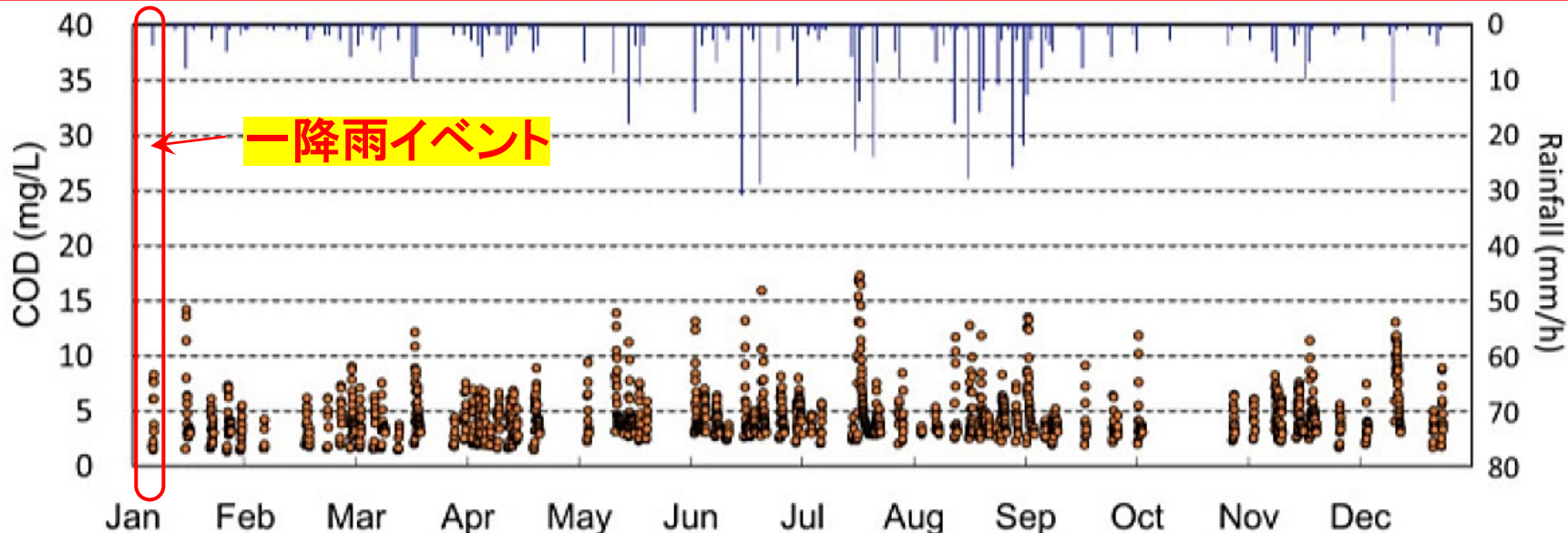


# 淀川水系における降雨イベントとCOD発生負荷量

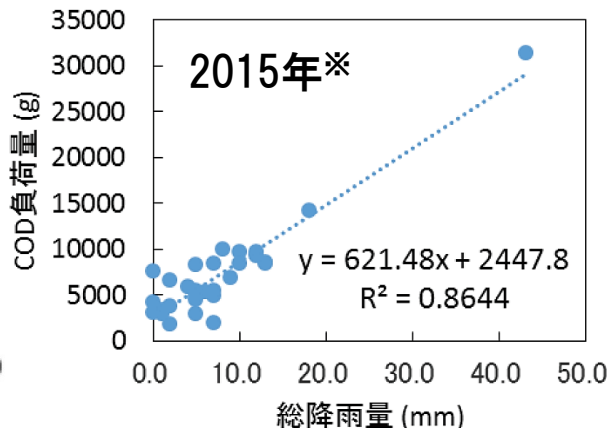
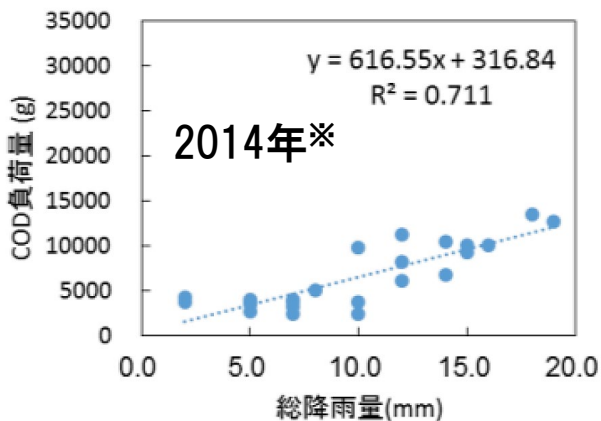
○和田ら\*による淀川水系を対象とした一降雨イベントごとの負荷特性解析

⇒ 一降雨イベントごとに流量・水質(CODの毎時測定値(水質自動観測))を比較

※和田ら (2018) 第52回日本水環境学会年会, 69.



《一降雨イベントごとのCOD濃度変化(2015年・桂川(宮前橋)の場合)\*》



○降雨イベントごとの総降雨量とCOD負荷の間に相関が確認(20 mm以下で良好)

○降雨イベントごとの比較から、降雨影響を受ける日数と発生負荷量の推定が可能 ⇒ 講演の後半で活用!!

# 近年の降雨時を含む三川由来負荷(TOC)

三川合流点前後の環境基準点(桂川-宮前橋、宇治川-御幸橋、木津川-御幸橋、淀川本川-枚方大橋(左・右岸))の水質・流量から負荷量を算出(約10年分の阪神水道企業団 水質試験年次報告\*1に記載のデータを使用)し、木津川上流の日雨量(上野\*2)と比較

$$\text{日負荷量}(\text{ton day}^{-1}) = \text{濃度}(\text{mg l}^{-1}) \times \text{日流量}(\text{m}^3 \text{ s}^{-1}) \times 3 \times 60 \times 60 \times 24 / 1,000,000$$

※淀川水質協議会による淀川原水調査結果、採水日が同じ ※前日・当日が雨でも実施されている

\*1 “水質試験年次報告(阪神水道企業団)”より作成

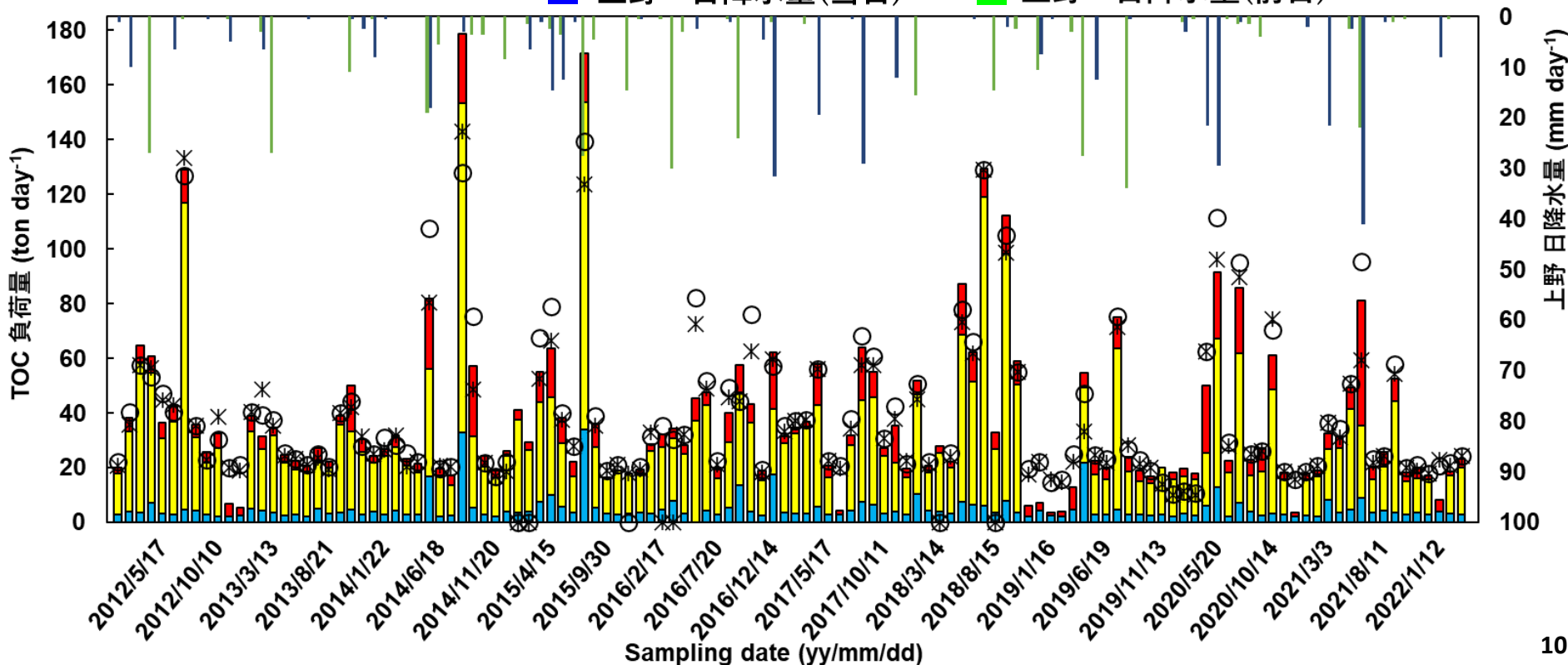
\*2 “過去の気象データ検索-上野(気象庁HP)”より、\*3 欠損日は事前に作成したH-Q式より推定

TOC (有機態炭素) ※

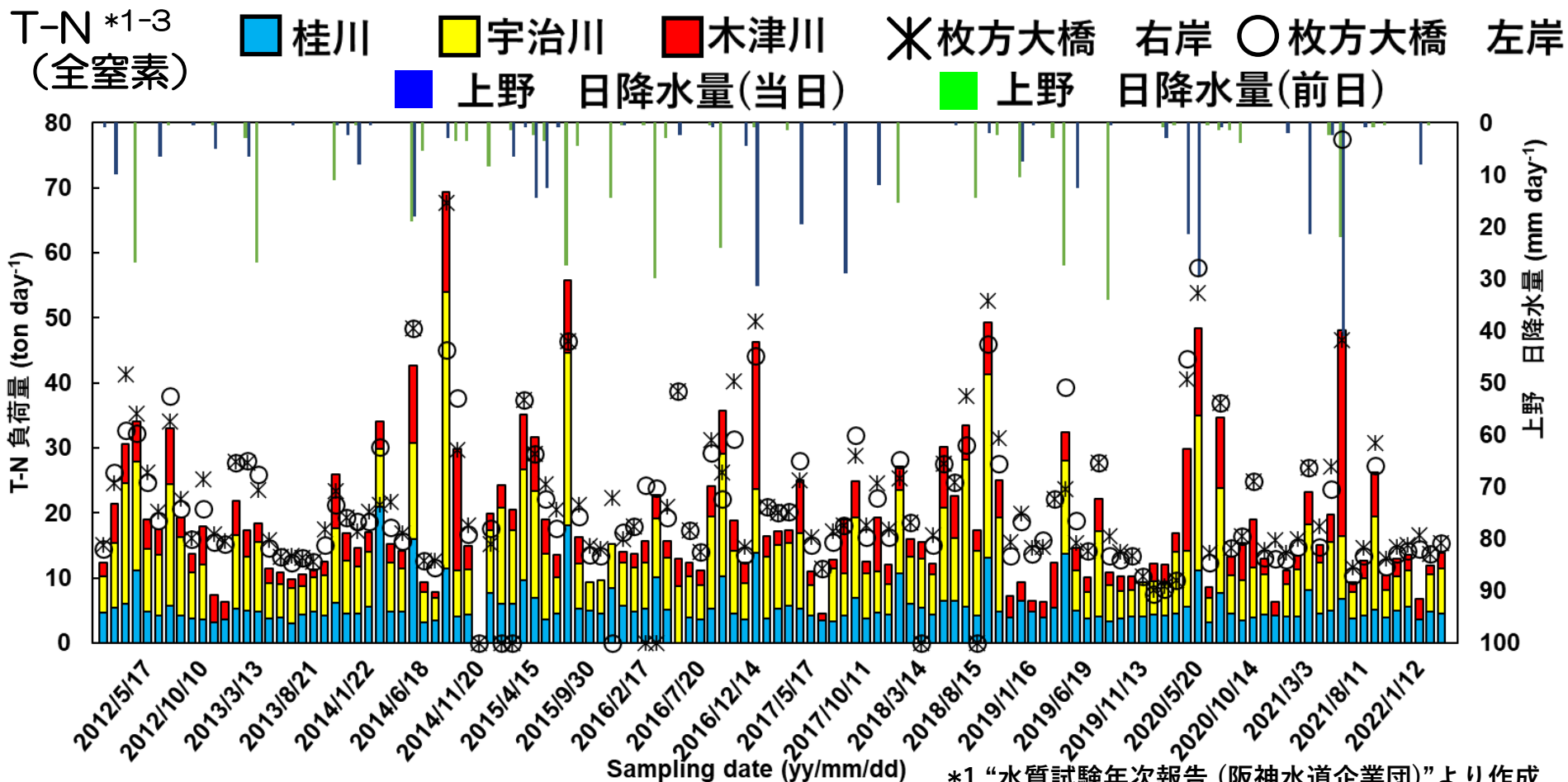
■ 桂川 ■ 宇治川 ■ 木津川 \* 枚方大橋 右岸 ○ 枚方大橋 左岸

注:一部データ欠損は未反映

■ 上野 日降水量(当日) ■ 上野 日降水量(前日)



# 近年の降雨時を含む淀川流入由来負荷(T-N)



\*1 “水質試験年次報告(阪神水道企業団)”より作成  
 \*2 “過去の気象データ検索-上野(気象庁HP)”より  
 \*3 欠損日は事前に作成したH-Q式より推定

**淀川本川への流入負荷の内、TOCでは宇治川の次に木津川由来が多い。  
 木津川由来のTOC・T-Nは変動が大きく、宇治川由来分を上回る場合もある  
 (平水時調査では見られない)。**

**これらの木津川における負荷変動の理由の一つとして、降雨による影響が考えられる。**

# 前半のまとめ

## 平水時

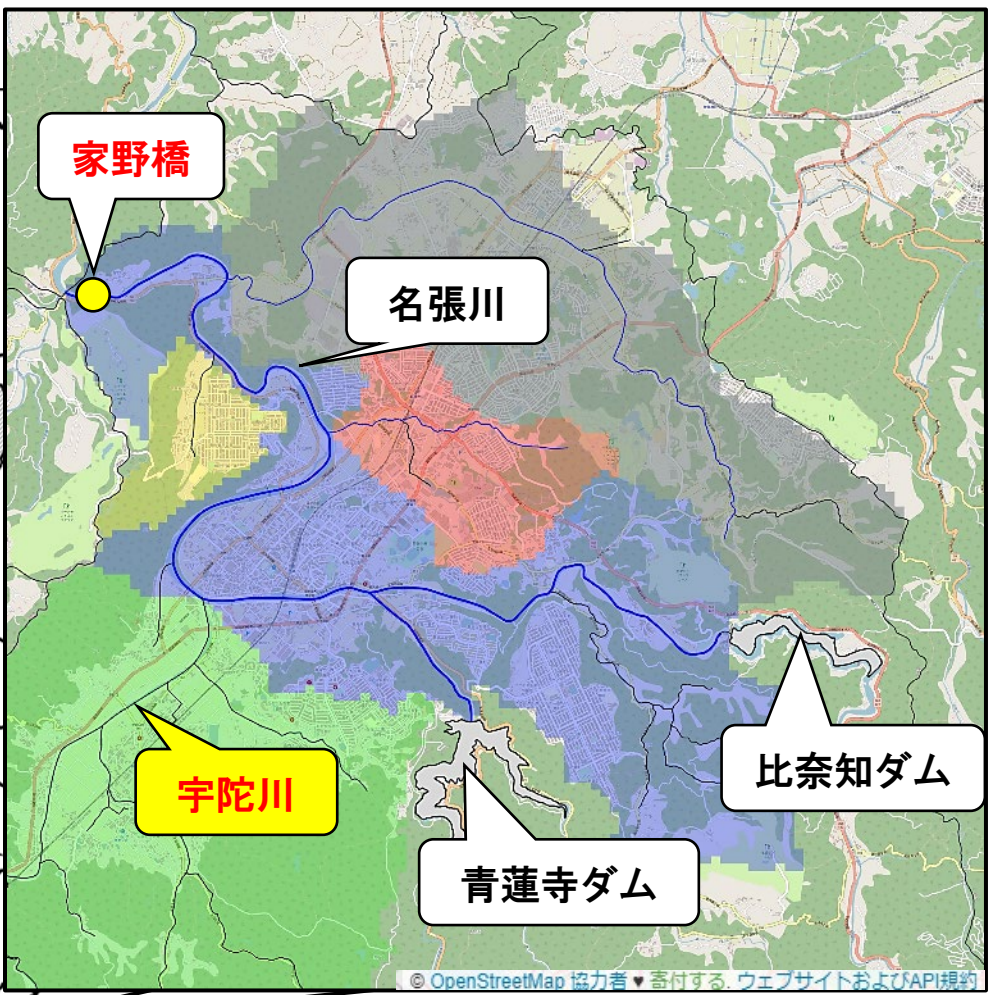
- 淀川本川(枚方大橋)に到達するCODの多くは宇治川。
- 淀川本川(枚方大橋)に到達するT-N・T-Pは桂川・宇治川由来が多い。

## 降雨時

- 淀川本川(豊里大橋)のT-N・T-P負荷の多くは出水時に発生。
- 降雨イベントとして捉えることで、総降雨量とCOD負荷の間に相関が確認され、降雨影響を受ける日数および発生負荷量を求めることができる。
- 木津川由来の負荷量は変動が大きく、降雨による影響も大きな原因の一つと考えられる。

**今回は木津川上流・名張川流域の降雨時を含む  
汚濁負荷特性について**

# 木津川上流部と名張川流域



上流に青蓮寺ダム・比奈知ダム・宇陀川上流の室生ダムを有しており、下流には高山ダムが存在する。

# 木津川上流・名張川流域における降雨時を含む調査概要

## ○調査期間

2017年1月～2020年1月に7～10回  
(降雨後調査は2019年6月～2020年1月  
の計3回調査)

## ○調査地点

今回示すのは図の通り、名張川  
(①～③)、および宇陀川(④)の  
計4地点

## ○調査水質

$\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P-TN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、  
P-TP、DOC、POC、Other-D-TN、  
Other-D-TP (mg/L) 等

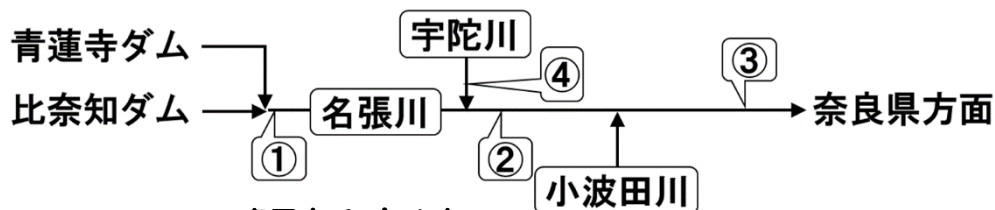
注:Dは溶存態、Pは粒子態の意味。

Other-D-TNは $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 以外  
のD-TN、Other-D-TPは $\text{PO}_4\text{-P}$ 以外のD-TP

注釈)  $\text{NH}_4\text{-N}$ :アンモニア態窒素、 $\text{NO}_3\text{-N}$ :硝酸態窒素  
TN:全窒素、 $\text{PO}_4\text{-P}$ :リン酸態リン、TP:全リン  
OC:有機態炭素



“地理院タイル (国土交通省 国土地理院)”に河川を追記して掲載



## ○解析方法

L-Q 式(べき乗関係式)・主成分分析

# 木津川上流・名張川における降雨による変化

《平水時(2019年6月18日)》



《降雨時調査-19/10/29》  
先行無降雨 85 時間  
総降水量 19.5 mm

《降雨後(2019年10月29日の場合)》



# 木津川上流・名張川流域における解析手法①

## 【L-Q式（べき乗関係式）について解説】

経験的に河川流量と負荷量の中に認められる下式のようなべき乗関係から、負荷特性を検討する。

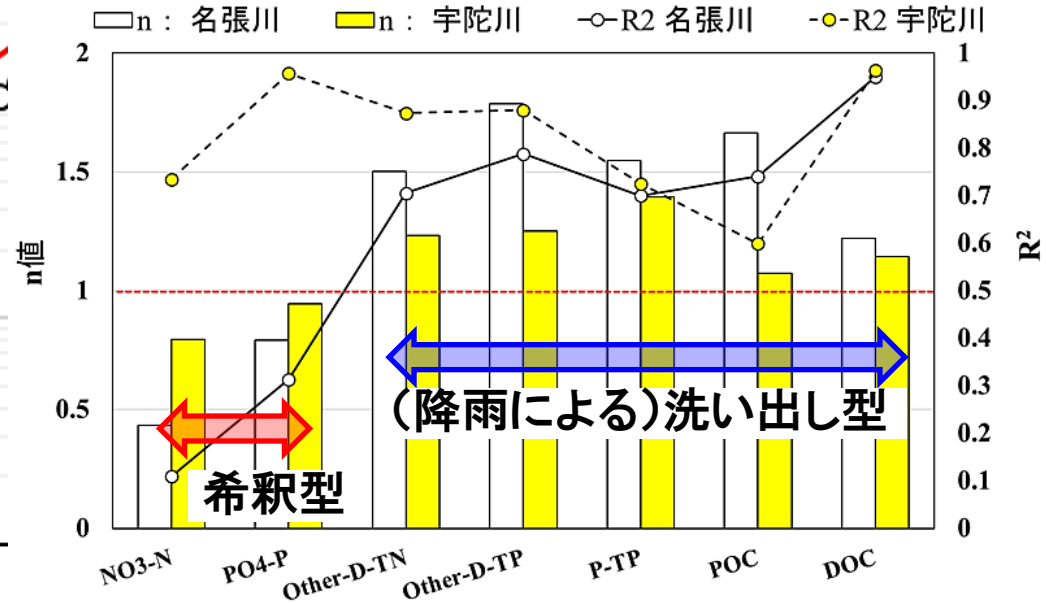
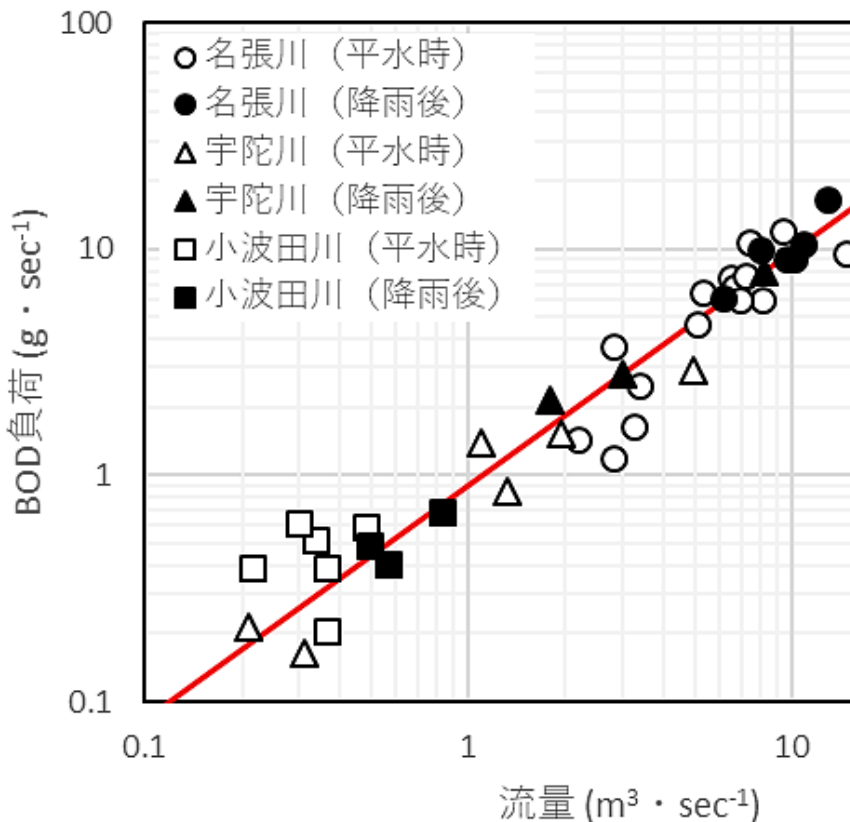
$$L = a Q^n$$

L: 負荷量 ( $\text{g} \cdot \text{sec}^{-1}$ ), Q: 流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ )

《負荷特性  
の分類》

- $n < 1$  ... 希釈型
- $n \doteq 1$  ... 濃度一定型
- $n > 1$  ... 洗い出し型

《解析結果※》



※ 類家ら (2021) 第43回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 80-82.

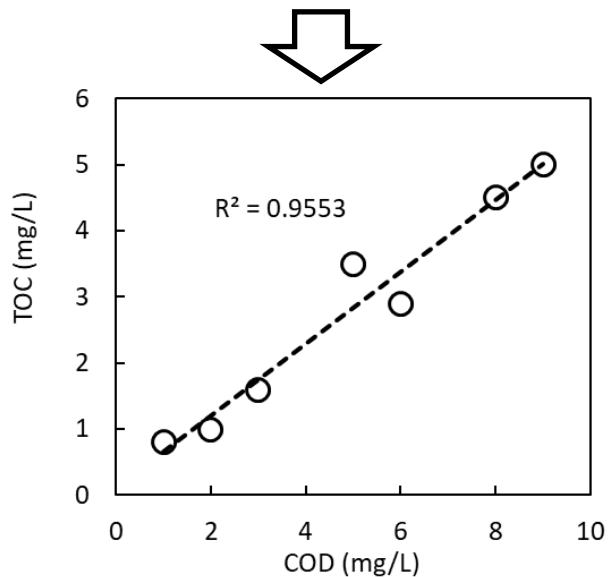


# 木津川上流・名張川流域における解析手法②

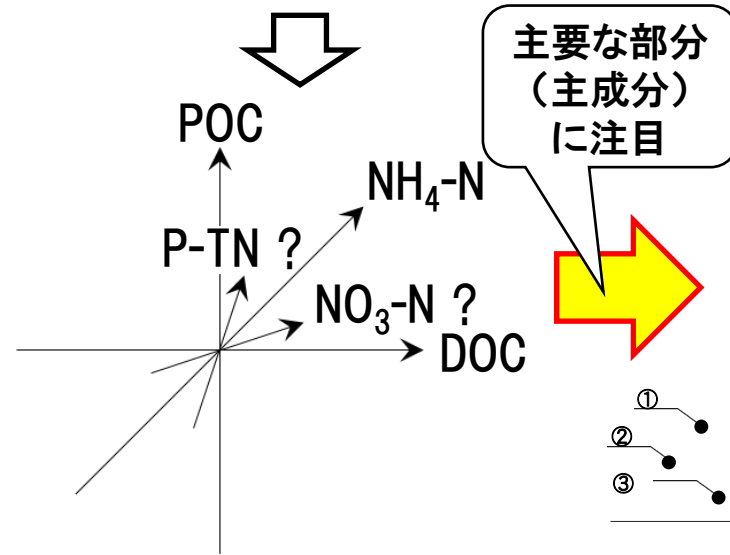
## 【主成分分析について解説】

採取地点	水質濃度 (mg/L)	
	COD	TOC
①	1	0.8
②	3	1.6
③	2	1
④	5	3.5
⑤	6	2.9
⑥	8	4.5
⑦	9	5
⋮	⋮	⋮

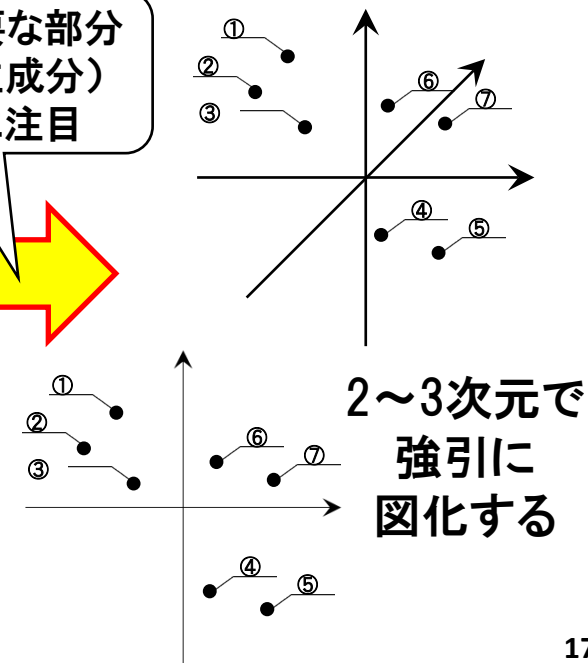
採取地点	水質濃度 (mg/L)							
	DOC	POC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	P-TN	P-TP	...
①	1	0.8	...	...	...	...	...	...
②	3	1.6	...	...	...	...	...	...
③	2	1	...	...	...	...	...	...
④	5	3.5	...	...	...	...	...	...
⑤	6	2.9	...	...	...	...	...	...
⑥	8	4.5	...	...	...	...	...	...
⑦	9	5	...	...	...	...	...	...
⋮	⋮	⋮	...	...	...	...	...	...



少ないデータはグラフ化しやすい



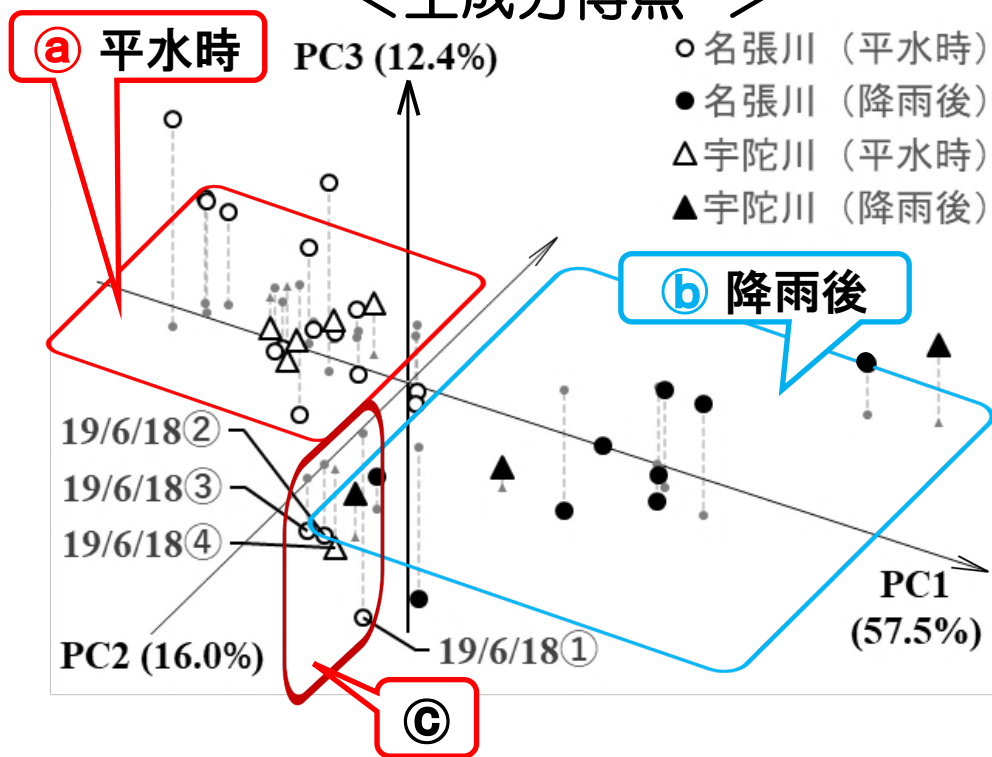
多いデータはグラフ化困難



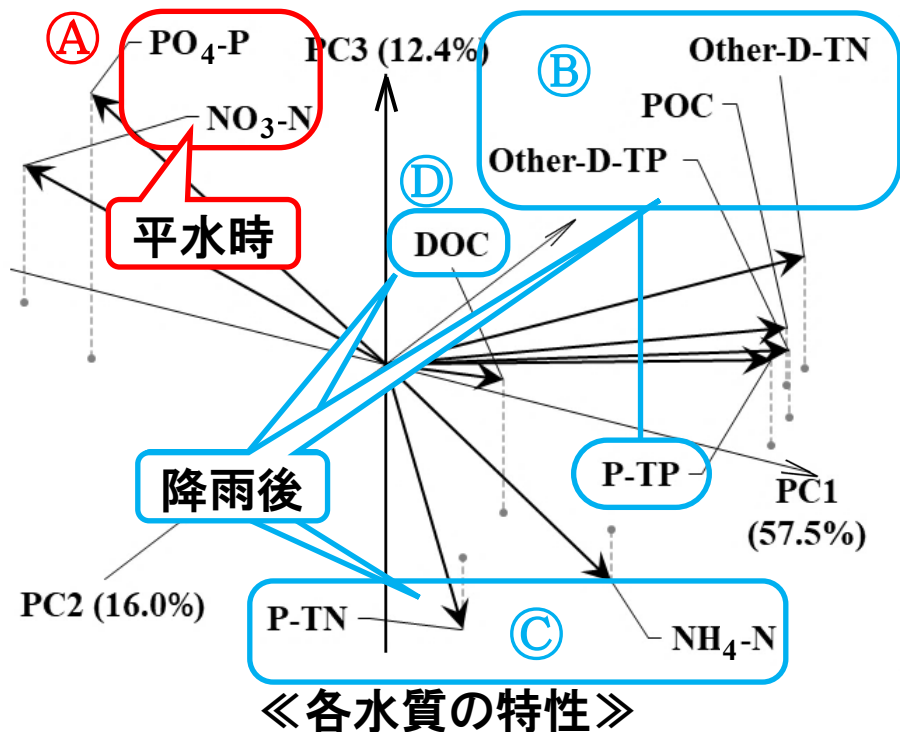
# 木津川上流・名張川水系の水質(濃度)に及ぼす降雨の影響

※ 類家ら (2021) 第43回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 80-82.

〈主成分得点※〉



〈主成分負荷量※〉



平水時と降雨後における濃度データに  
明確な違いが認められた。

また、L-Q 式(べき乗)による解析結果も踏まえ、以下の点が明らかとなった。

○平水時…希釈型負荷の  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  が増加

○降雨後…洗い出し型負荷(上記  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  以外の負荷) が増加

○平水時… $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  の濃度が高い  
○降雨後…上記以外の濃度が高い

《各水質の特性》

降雨時の負荷量調査は重要。では降雨時負荷量はどれくらい？ 負荷源は？

# 名張川における降雨時の負荷量および負荷源推定

## 《ステップ①》

河川水位(家野橋地点)の変動と降水量(名張)の比較から降雨の影響を受けた日数を求め、以下の式より【実測値に基づく年負荷量】を算出した。

○【実測値に基づく年負荷量】の算出式

2019年は71.2日

$$L_{year} = T_{normal} \cdot L_{normal} + T_{rainfall} \cdot L_{rainfall}$$

注: $L_{year}$  (ton year<sup>-1</sup>)は年負荷量の実測値、 $L_{normal} \cdot L_{rainfall}$  (ton day<sup>-1</sup>)は平水時・降雨時負荷量の算術平均、 $T_{normal}$  (day year<sup>-1</sup>)は河川の非降雨影響日数、 $T_{rainfall}$  (day year<sup>-1</sup>)は河川の降雨影響日数。

## 《ステップ②》

各種の実績値・統計値・原単位等を活用し、名張川流域内の点源負荷・面源負荷を推定し、その和から【発生年負荷推定量】を算出した。

## 《ステップ③》

【実測値に基づく年負荷量】と【発生年負荷推定量】を比較し、負荷源の推定を試みる。

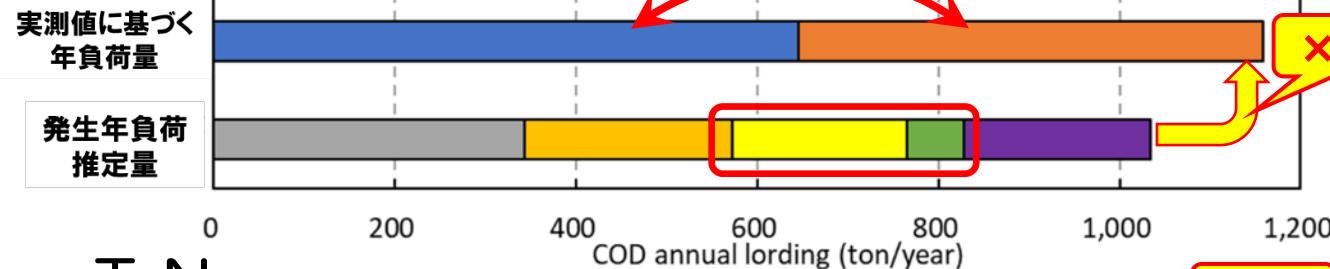
《2019年を対象に算出》

# 名張川の降雨時負荷および予想される負荷源

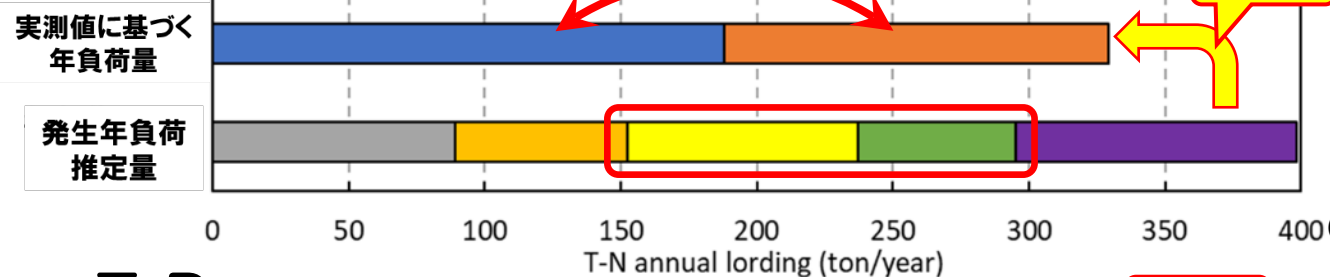
《2019年》

■晴天時 ■降雨後 ■2ダム ■宇陀川実測 ■面源 ■点源(工業団地外) ■工業団地

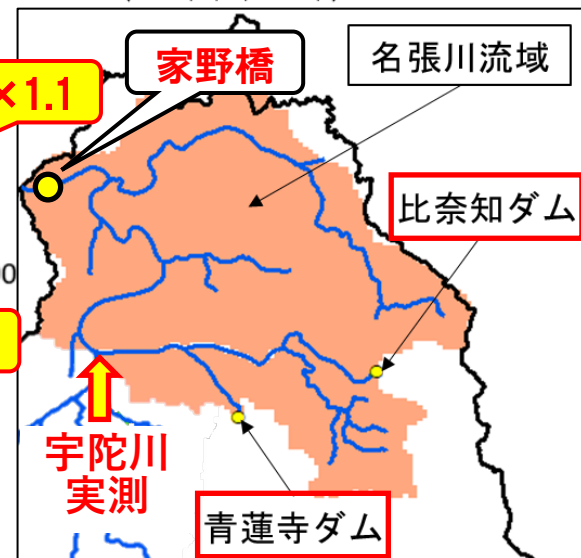
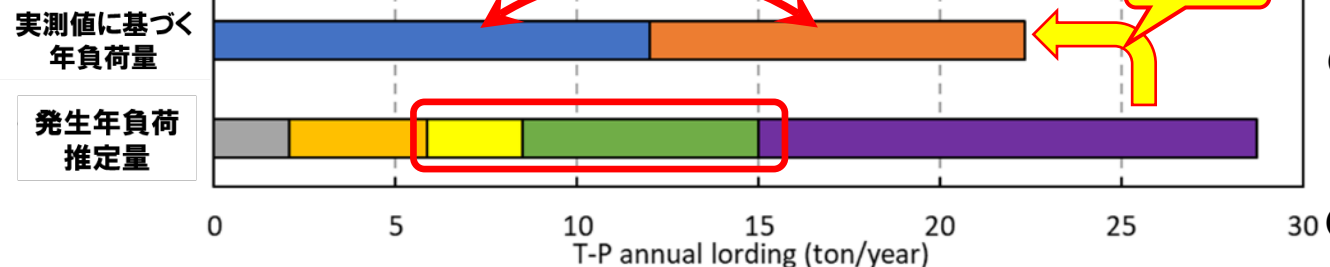
## COD



## T-N



## T-P



- 【負荷発生量の推定値】の宇陀川流域分は【実測値に基づく年負荷量】で代用
- 【実測値に基づく年負荷量】の内、**降雨時が年全体の44~46%**
- 【実測値に基づく年負荷量】と【発生年負荷推定量】の差は**1.1~1.3倍程度**

○名張川における降雨時負荷の影響は大きい

○【実測値に基づく年負荷量】と【発生年負荷推定量】は大きく乖離せず、後者はある程度信頼できると考えられるため、面源・点源(工業団地外)の推定値に内訳に注目

# 【発生年負荷推定量】の内訳

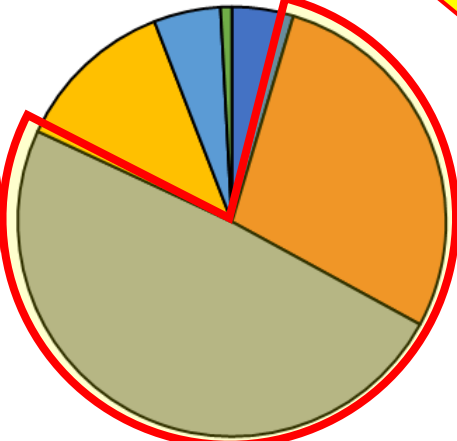
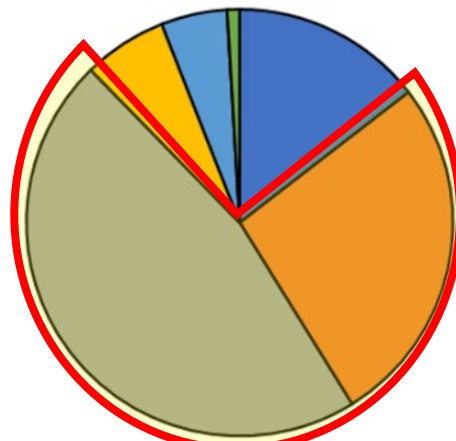
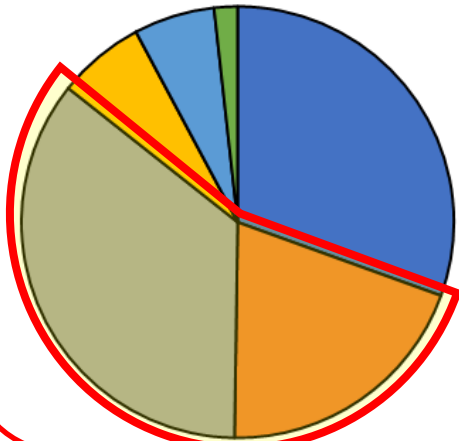
○点源負荷（工業団地外…事業系除く）

大型合併浄化槽として  
発生年負荷量を推定

COD

T-N

T-P



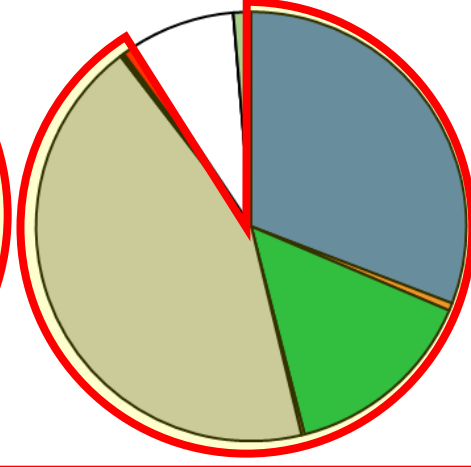
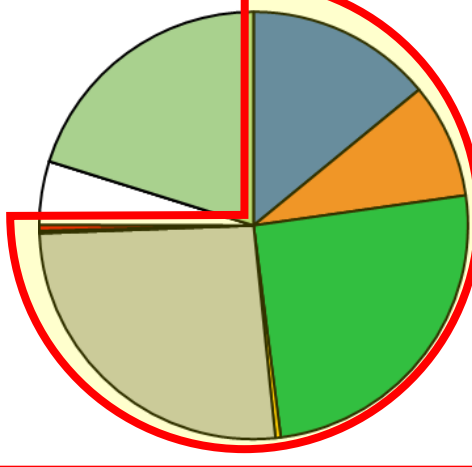
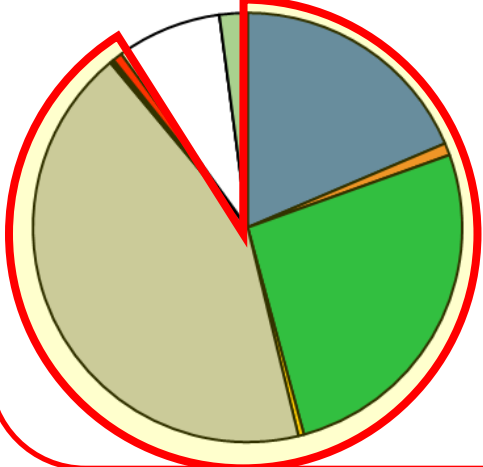
- 【中央浄化センター】
- 【市一宅地排】
- 【民間一宅地排】
- 【農集排】
- 【家庭用浄化槽】
- 【し尿処理場】

○面源負荷

COD

T-N

T-P



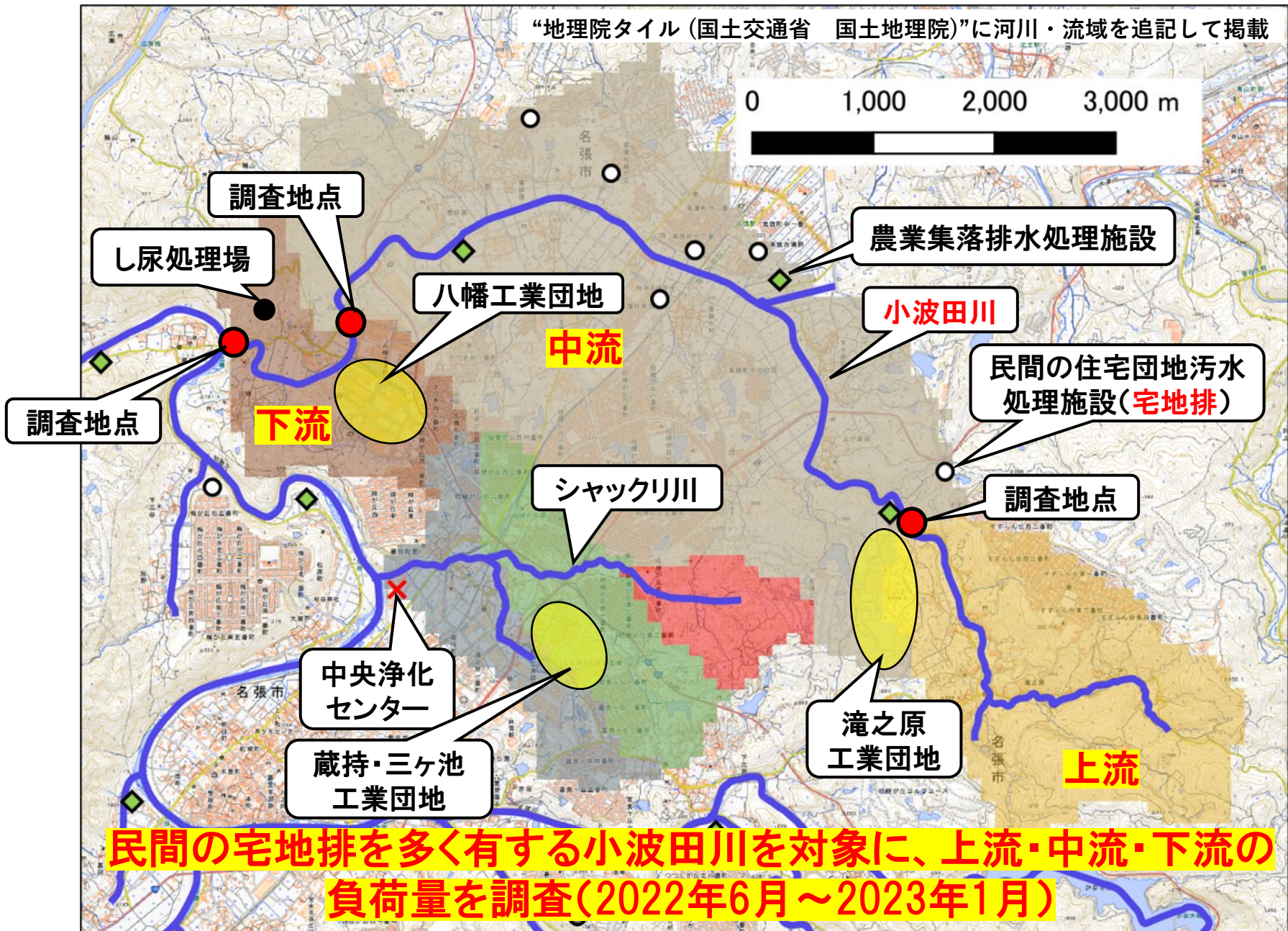
- 【田】
- 【その他の農用地】
- 【森林】
- 【荒地】
- 【建物用地】
- 【道路】
- 【鉄道】
- 【その他の用地】
- 【河川地及び湖沼】
- 【ゴルフ場】

○点源…住宅団地污水处理施設(宅地排) ○面源…農地、森林、建物用地

# 住宅団地汚水処理施設(宅地排)の影響の検討

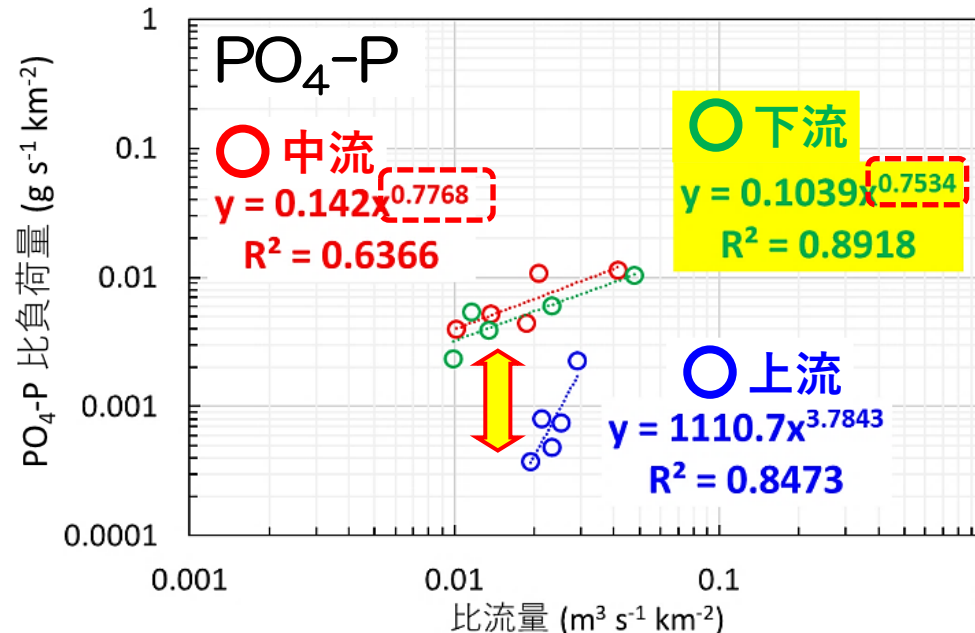
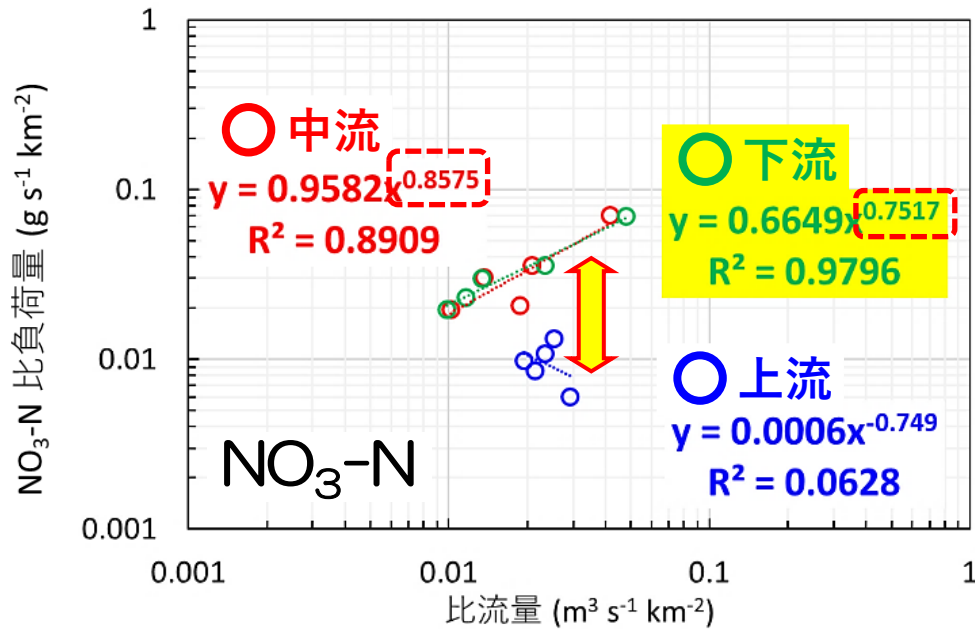
“地理院タイル(国土交通省 国土地理院)”に河川・流域を追記して掲載

0 1,000 2,000 3,000 m



民間の宅地排を多く有する小波田川を対象に、上流・中流・下流の  
負荷量を調査(2022年6月～2023年1月)

# 小波田川上流・中流・下流におけるNO<sub>3</sub>-N・PO<sub>4</sub>-P比負荷量



$$L = a Q^n$$

L: 負荷量 (g・sec<sup>-1</sup>), Q: 流量 (m<sup>3</sup>・sec<sup>-1</sup>)

負荷特性の分類

- n < 1...希釈型
- n ≐ 1...濃度一定型
- n > 1...洗い出し型

NO<sub>3</sub>-N・PO<sub>4</sub>-P比負荷量ともに中流以降で増加しており、多くが希釈型 ⇒ 点源負荷の可能性

名張川流域の宅地排(住宅団地污水处理施設)は建設年が古く(昭和40年代以降)、NO<sub>3</sub>-N や PO<sub>4</sub>-PといったT-N・T-P除去には特化していない可能性がある。

名張市でも老朽化が問題となり、公共下水道への切り替えも検討されている\*。

\* 名張市下水道マスタープラン(改定二版), 2019

# 後半のまとめ

## 名張川流域の汚濁負荷特性

- 名張川では平水時と降雨後の水質が明確に異なっていた。
- 平水時…希釈型負荷( $\text{NO}_3\text{-N}$  と  $\text{PO}_4\text{-P}$ )が増加
- 降雨後…洗い出し型負荷  
(Other-DT-N、Other-DT-P、P-TP、DOC、POC 等)が増加

## 降雨時負荷および予想される負荷源

- 年負荷量のうち、降雨時が年全体の 44～46 %を占める。
- 点源負荷(事業系除く)
  - …住宅団地汚水処理施設の影響が大きい可能性
- 面源負荷…主に農地、森林、建物用地由来と考えられる

対象流域を適切に絞ることで、本解析で用いた【実測値に基づく年負荷量】と【発生年負荷推定量】の比較に基づく負荷源推定法を、様々な流域に適用できる可能性が示唆される。



# 総括

- 琵琶湖・淀川流域では、木津川上流の名張川流域を含め、**降雨時負荷の影響は無視できない。**
- 降雨時の負荷を考慮することで、【**実測値に基づく年負荷量**】と【**発生年負荷推定量**】の乖離が抑えられる可能性がある
- 一方、降雨時における水質調査の実施例は多くない。特に、**河川上流域の降雨時調査は手薄**になりやすい。
- 少ないながらも、**様々な流域における着実な降雨時調査データの蓄積は、関連自治体の汚濁負荷対策の検討に寄与し得るもの**と考えられる。
- さらに、得られた成果を統合し、琵琶湖・淀川流域全体の様々な汚濁物質動態の解明に繋げていくことが重要と考えられる。



# 謝辞

京都大学 西村教授および研究室の皆様方、  
木津川上流河川事務所の方々、  
水資源機構木津川総合管理所(比奈知ダム、青蓮寺ダム)の方々には、  
採水・調査・分析等においてご尽力をいただきました。  
ここに謝意を表します。