

# 流入負荷の実態

東京理科大学工学部土木工学科  
二瓶泰雄

## 流入負荷とは？

陸域負荷, 汚濁負荷, 水質負荷, 物質輸送量...

「陸域から河川経由で内湾や湖沼へ流入する物質質量」

$$\text{流入負荷} = \text{河川流量} \times \text{水質濃度}$$

# 「流入負荷」評価の必要性

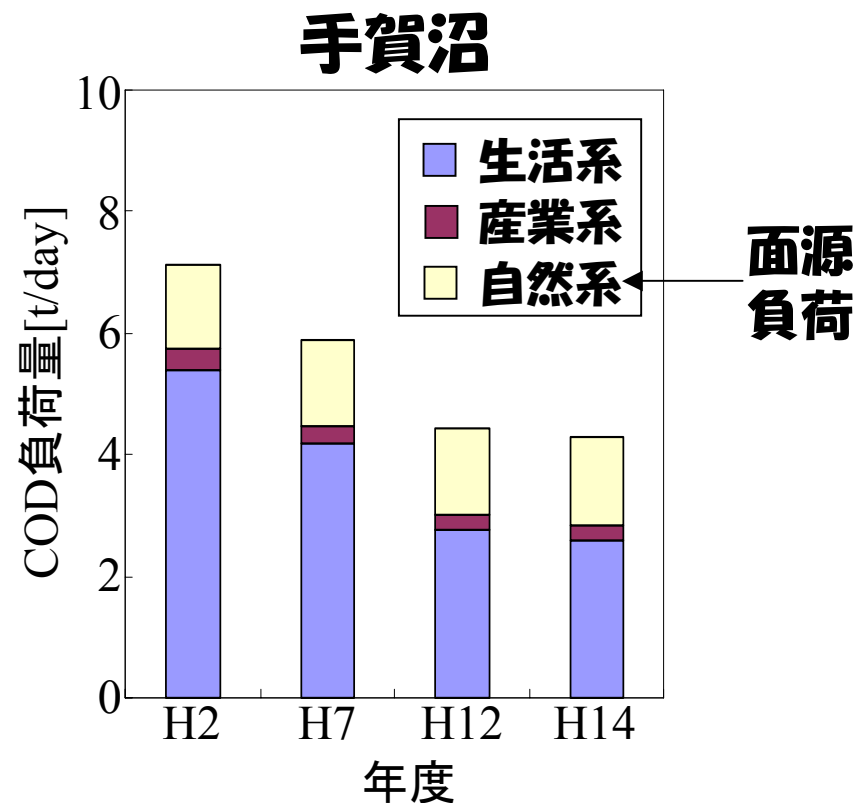
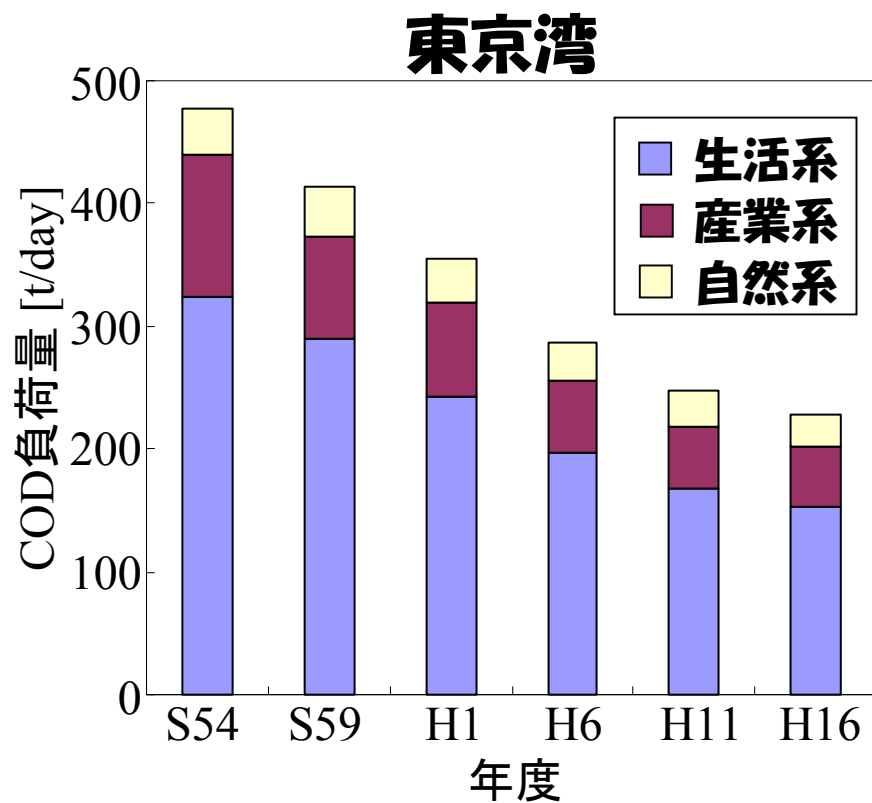
## ▼富栄養化した湖沼・内湾における水質改善・環境再生

### 例) 東京湾再生のための行動計画

1. 陸域負荷削減策の推進
2. 海域における環境改善対策の推進
3. 東京湾におけるモニタリング

## ▼水質総量規制

- ・昭和53年に導入, 現在第6次水質総量規制の実施
- ・指定項目: COD(第一次~), **N, P(第六次~)**



※原単位法により算出

# 流入負荷を求めるには？

$$\text{流入負荷} = \text{河川流量} \times \text{水質濃度}$$

## 河川流量

- ・水位Hと流量Qの関係式(H-Q式)から算出される。
- ・自動水位観測所は数多く整備されている。

 データは充実

## 水質濃度

- ・自動水質観測所は水位観測所と比べて非常に少ない。測定項目も限定。
- ・晴天時や降雨時に採水し、その後、手分析を実施する。

 データは不十分、時々刻々の実測値を得ることは困難

**流入負荷算定には、何らかのモデル化や推定式が必要！**

## 流入負荷算定に求められる条件

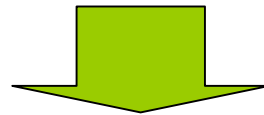
- ・どの程度の時間分解能が必要か？

年間平均, 季節変動, 日変化, より細かな時間変動...

- ・どの位置における結果が必要か？

理想: 川と海(湖沼)の接続点

現実: それより上流地点 → 河口域(下流域)での変化は？



**受水域(湖沼や内湾)における水・生態環境を評価するときに  
必要となる流入負荷算定精度が決まる**

# 本講演の内容

既存の流入負荷算定方法の特徴と現状を紹介する。

## 1. 原単位法

人口、土地利用などの流域環境情報に対して、汚濁負荷の「**原単位**」を与え、それから流入負荷量を算定する。

→ 観測結果との比較により、原単位法の適用性を検討。

## 2. 流入河川実測法

河川下流部において流量・水質調査を行い、その結果より流入負荷量 $L$ を算出する。

→ 流入負荷量 $L$ と流量 $Q$ の相関関係( $L$ - $Q$ 式)の適用性・限界  
計測位置による流入負荷量の違い  
流量や土砂濃度自体の計測精度

# 原単位法の概要と適用性



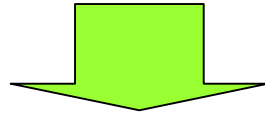
## 原単位とは？

汚濁物質(栄養塩や有機物など)の発生・排出量を単位時間・単位面積(人など)あたりに換算した値

### 例)生活排水(家庭)の原単位

人間一人あたり、一日あたり排出する汚濁物の質量

→ 単位: g/人/日



生活系負荷 = 人口[人] × 原単位[g/人/日]

# 汚濁負荷発生源の分類

## ①点源負荷(特定汚染源, *point source*)

～汚濁物質の排出ポイントが特定できるもの～

- ・生活系負荷(家庭)
- ・畜産系負荷
- ・産業系負荷(工場)

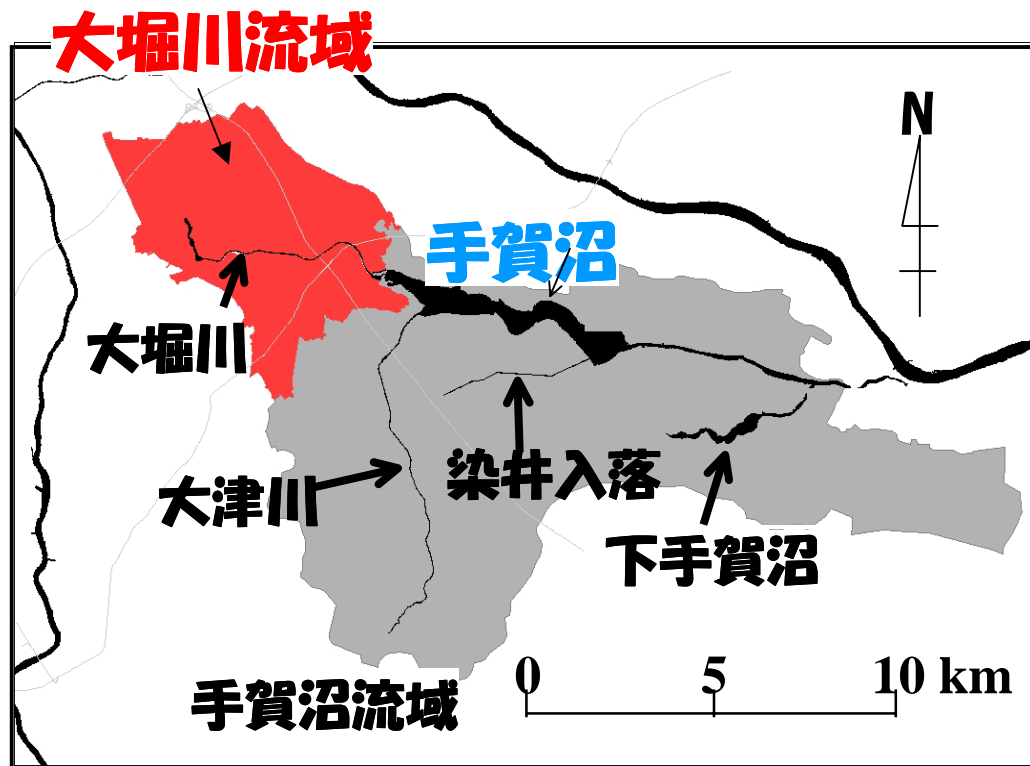
## ②面源負荷(非特定汚染源, *non-point source*)

～汚濁物質の排出ポイントが特定しにくいもの～

- ・市街地
- ・農地(田, 畑)
- ・山林
- ・降水

# 各汚濁負荷の解析手順と結果

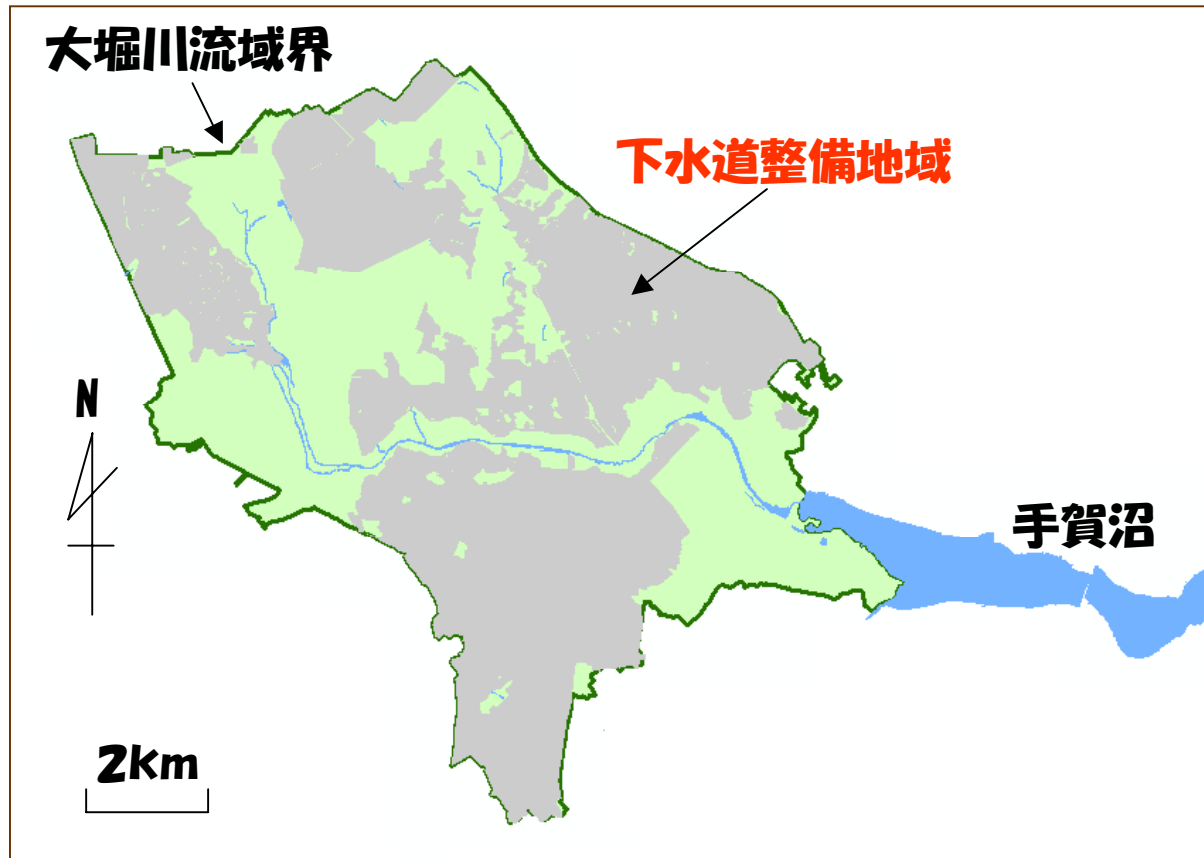
解析例: 千葉県柏市大堀川(手賀沼の主要流入都市河川)



流域面積	31km <sup>2</sup>
流域人口	16.5万人
市街地率	75%
下水道普及率	85%

# 点源負荷の算定法：①生活系負荷

生活排水処理形態別人口を算出  
(合併浄化槽, 単独浄化槽, 下水道接続人口)



COD排出負荷原単位

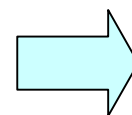
流域下水道	0
単独浄化槽	21.5
合併浄化槽	2.7

unit:g/人/日

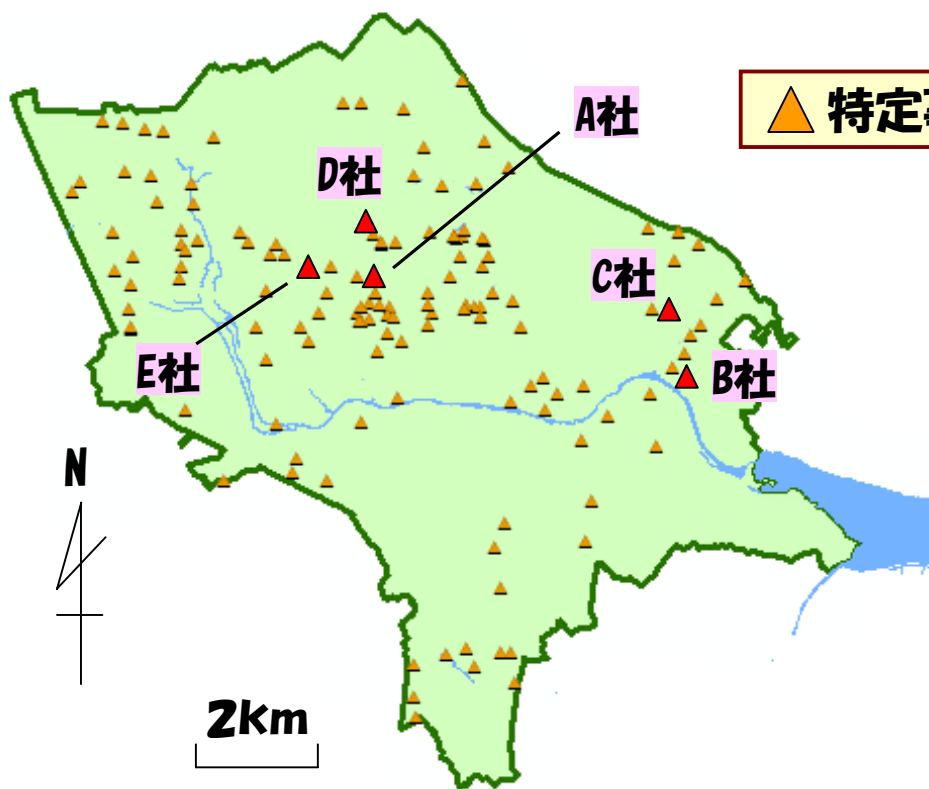
# 点源負荷の算定法：②産業系負荷

～規制特定事業場からの排水負荷 $L$ ～

- ・特定事業所の届出排水量 $Q$
- ・事業種別・排水量別に定められた定数 $a, b$



$$L = a * Q^b$$



特定事業場からの負荷 [kg/day]

	COD	N	P
A社	112.3	51.5	6.9
B社	30.7	54.7	11.0
C社	25.0	44.8	9.0
D社	10.4	4.5	0.6
E社	8.5	12.7	1.7
その他	82.7	117.9	19.1
合計	269.6	286.2	48.2

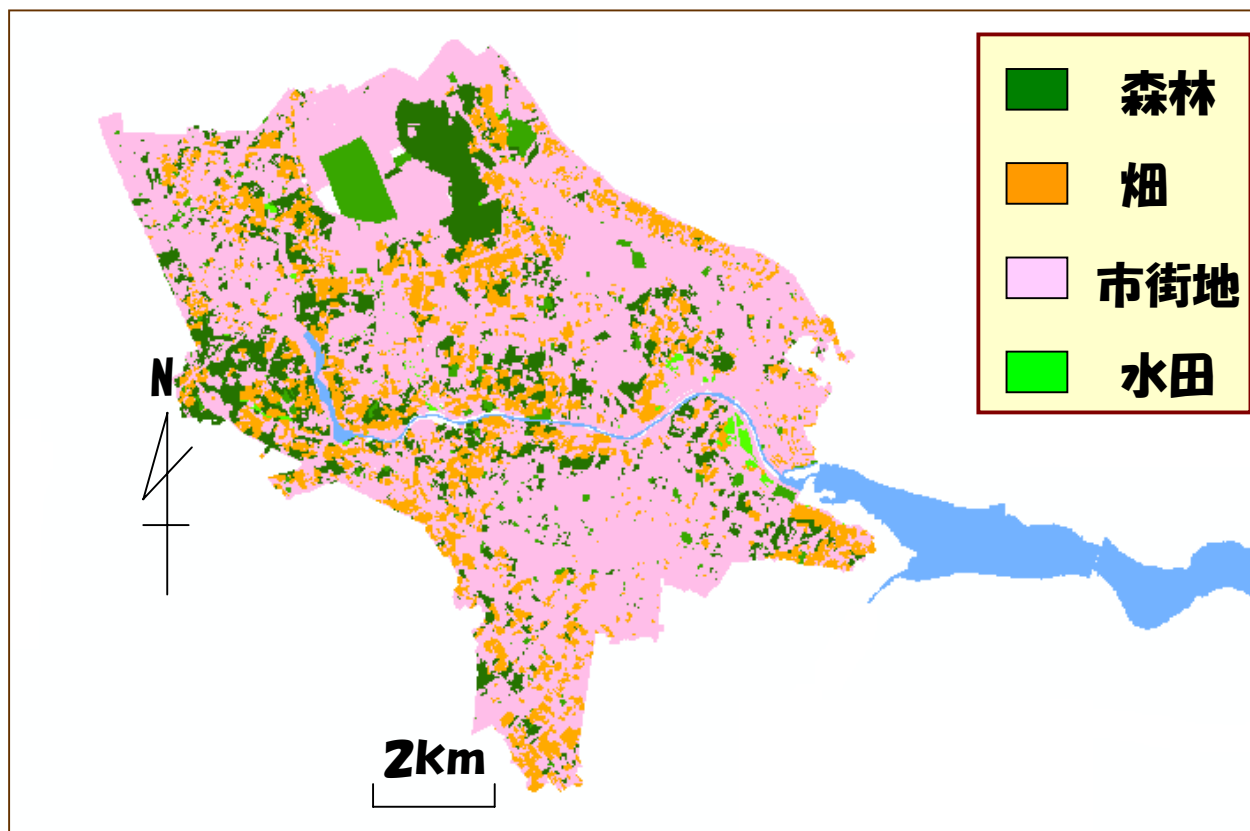
# 面源負荷の算定法

土地利用分類データと降雨より算出  
(市街地, 山林, 畑, 畑)

面源負荷原単位(COD)

水田	11.9
畑	3.3
山林	3.5
市街地	10.3
降水	4.7

unit: kg/km<sup>2</sup>/日



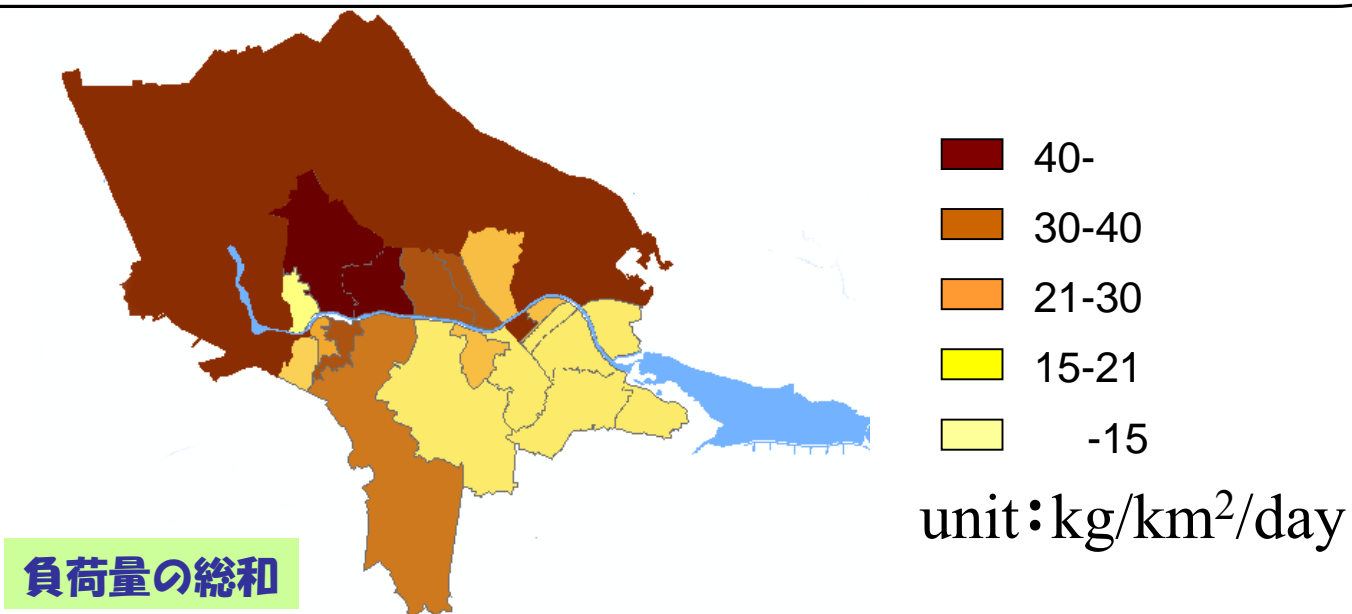
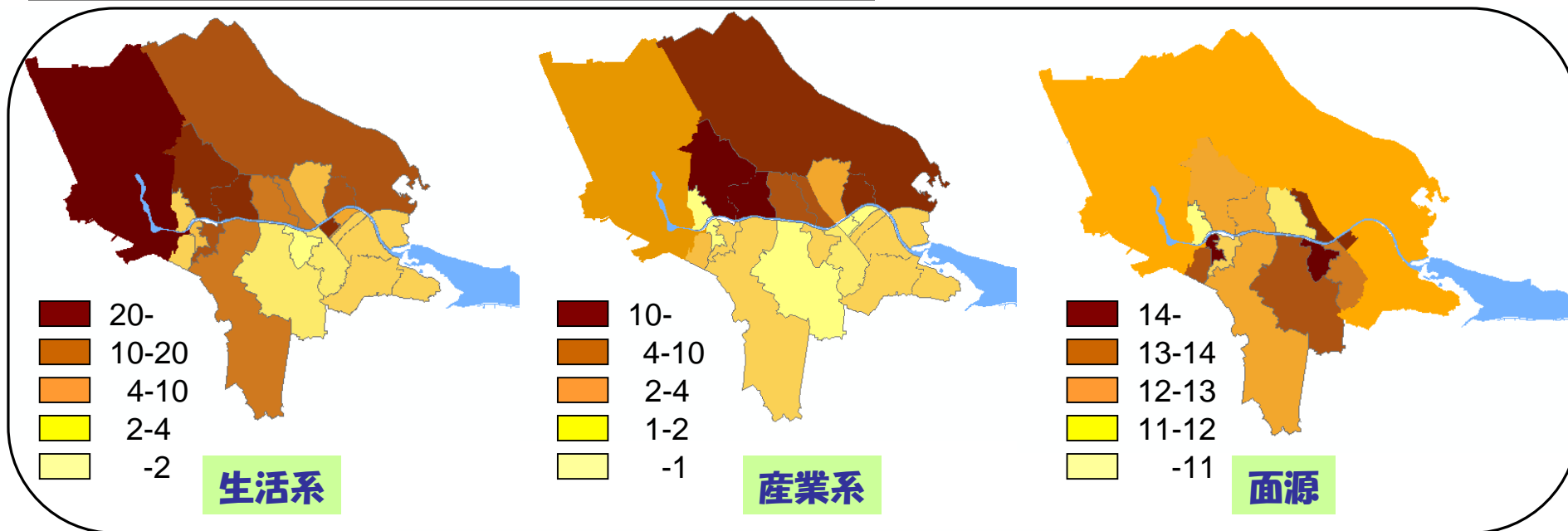
土地利用分類図(1994年)

## 本研究で使用した原単位

		COD	T-N	T-P
生活系負荷量 (g/人/day)	合併浄化槽	2.7	3.7	0.55
	単独浄化槽	21.5	5.3	0.83
面源負荷量 (kg/km <sup>2</sup> /day)	水田	11.9	3.27	0.333
	畑	3.31	6.92	0.086
	森林	3.49	0.58	0.08
	市街地	10.3	3.02	1.66
	降雨	4.72	2.75	0.12

この原単位に、対象とする面積や人数をかけることで発生する負荷量を推定することができる

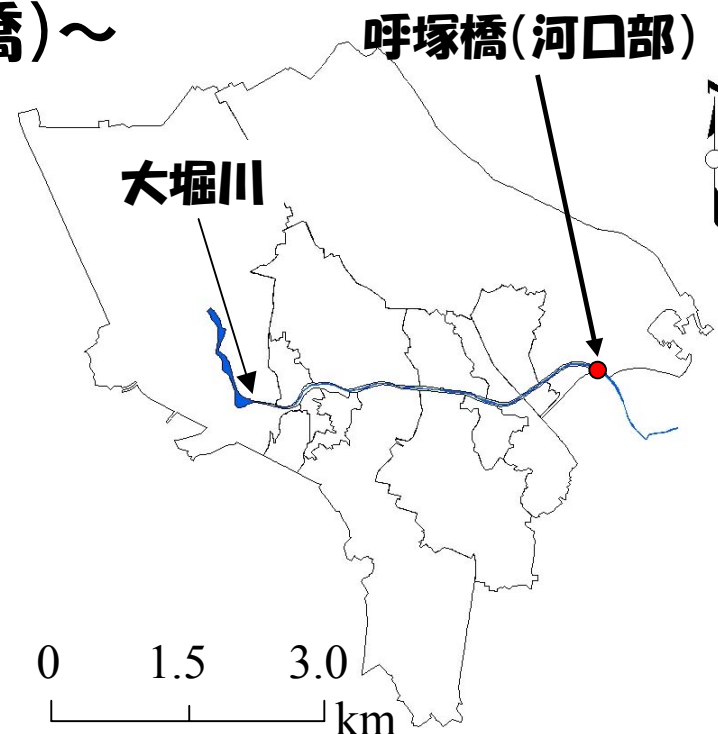
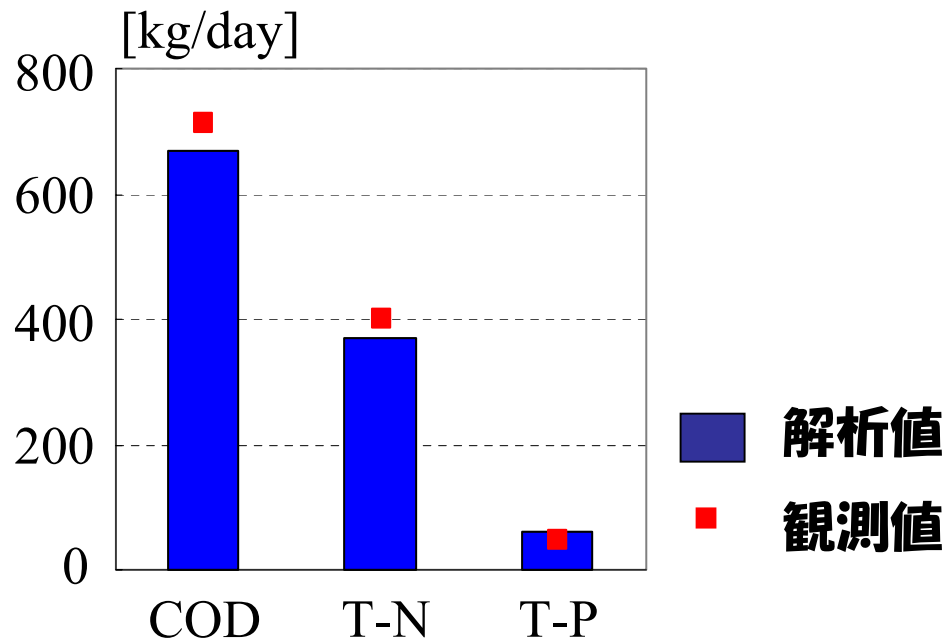
# 解析結果①: COD負荷量マップ





# 解析結果②-1: 点源負荷の観測値と比較

～点源負荷の解析精度(河口部・呼塚橋)～

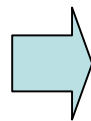


流達率(=観測値/解析値)

**COD: 1.07**

**T-N: 1.08**

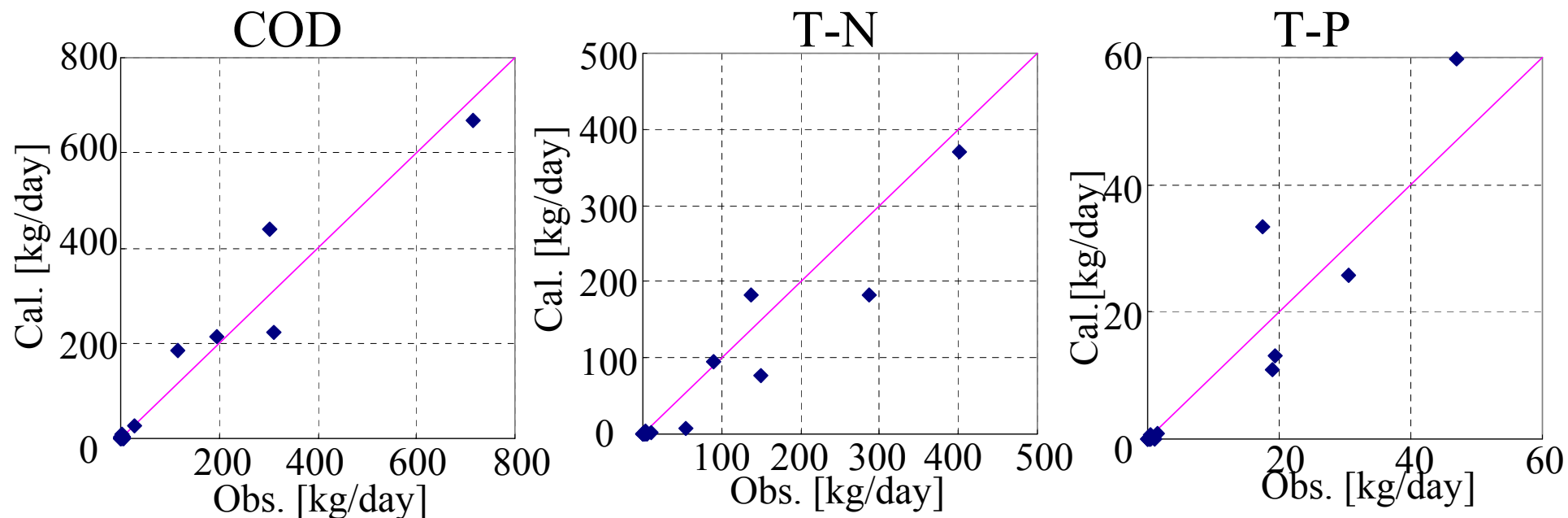
**T-P: 0.78**



**概ね一致**

## 解析結果②-2: 点源負荷の観測値と比較

～点源負荷の解析精度(各小流域)～

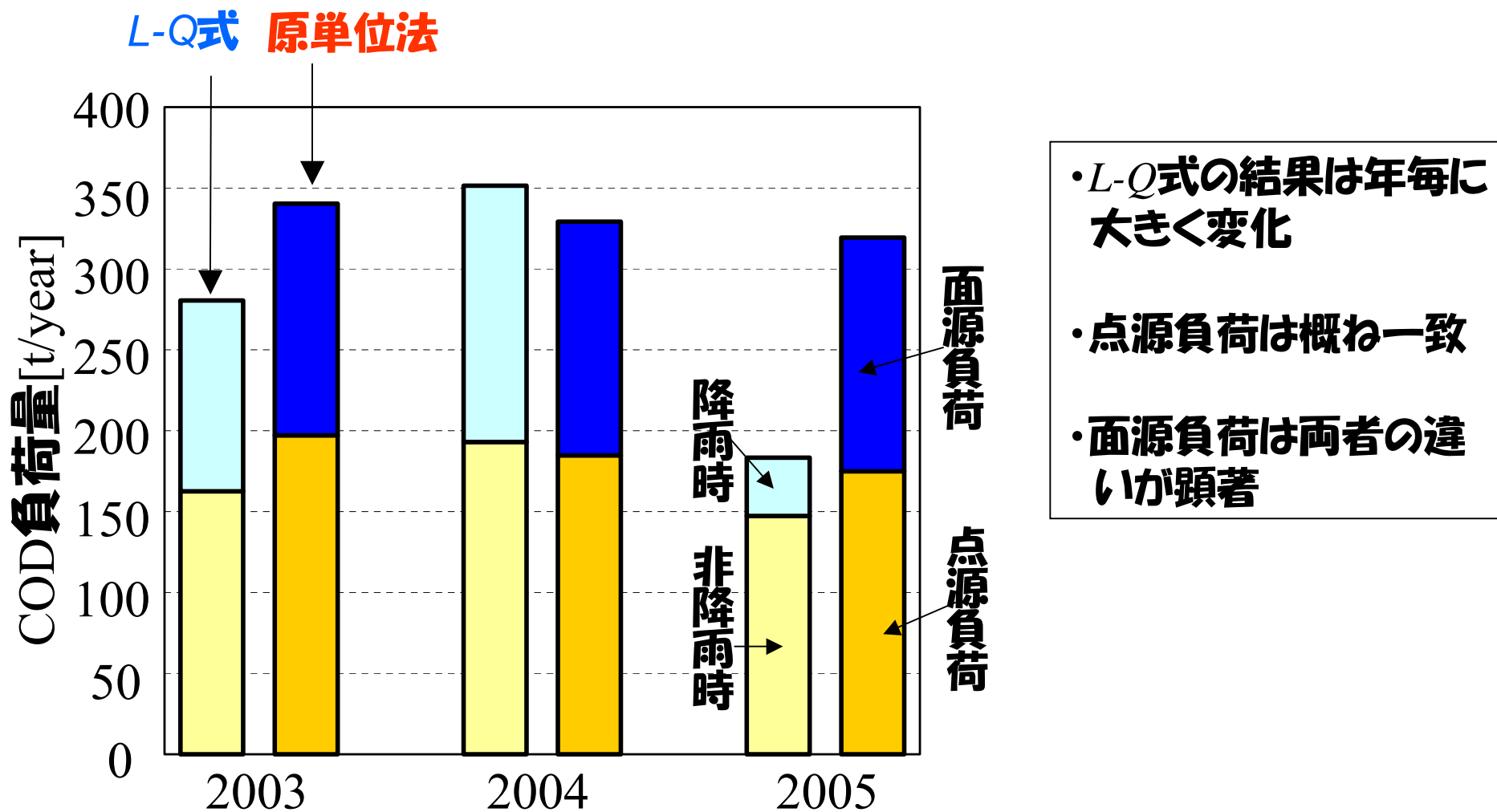


COD, T-N, T-Pともに概ね一致

点源負荷の解析精度は小流域においても良好

# 解析結果③-1: 全流入負荷(点源 + 面源)の経年変化

2003~05年における年間流入負荷を**原単位法**と**L-Q式**の結果を比較

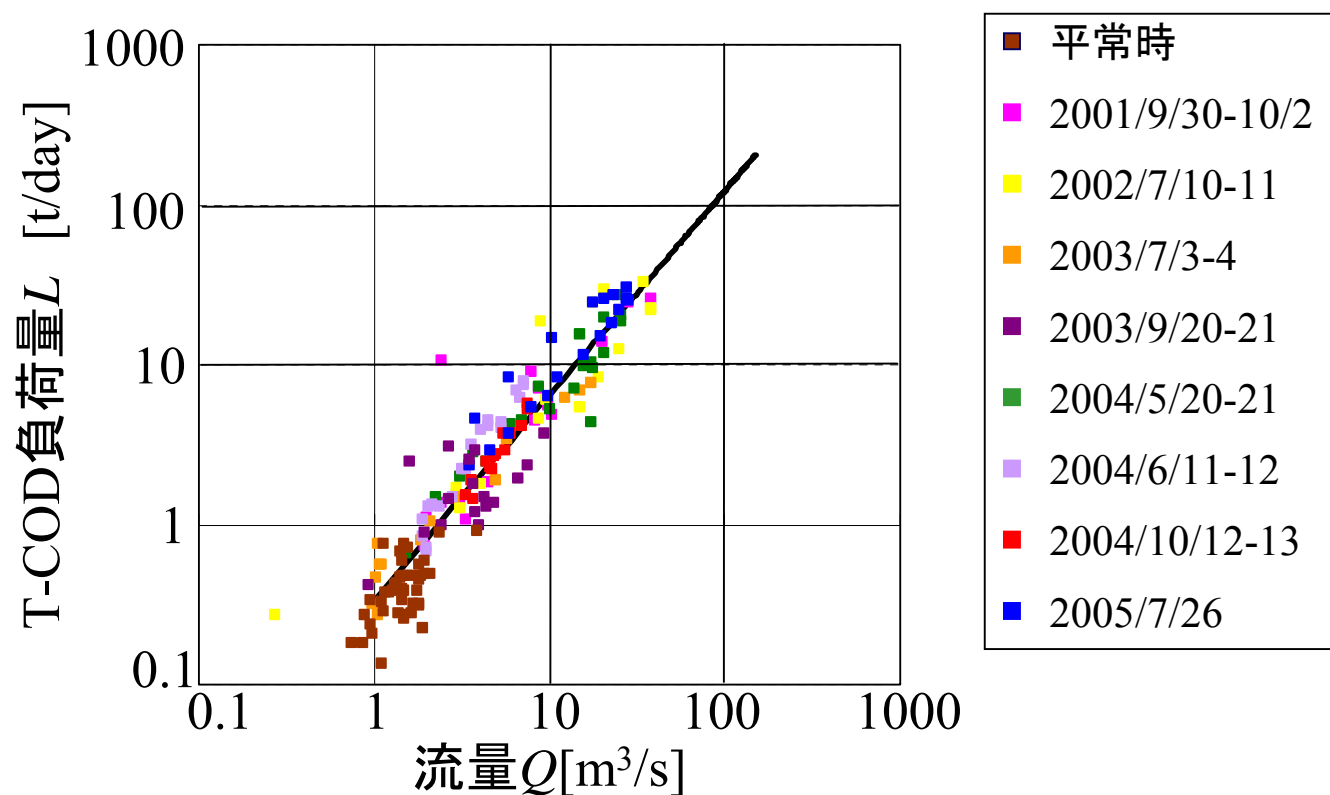


➡ 原単位法により面源負荷の経年変化評価に限界

## 解析結果③-2: 全流入負荷(点源 + 面源)の経年変化

L-Q式による実測値の作成(下流部・呼塚橋)

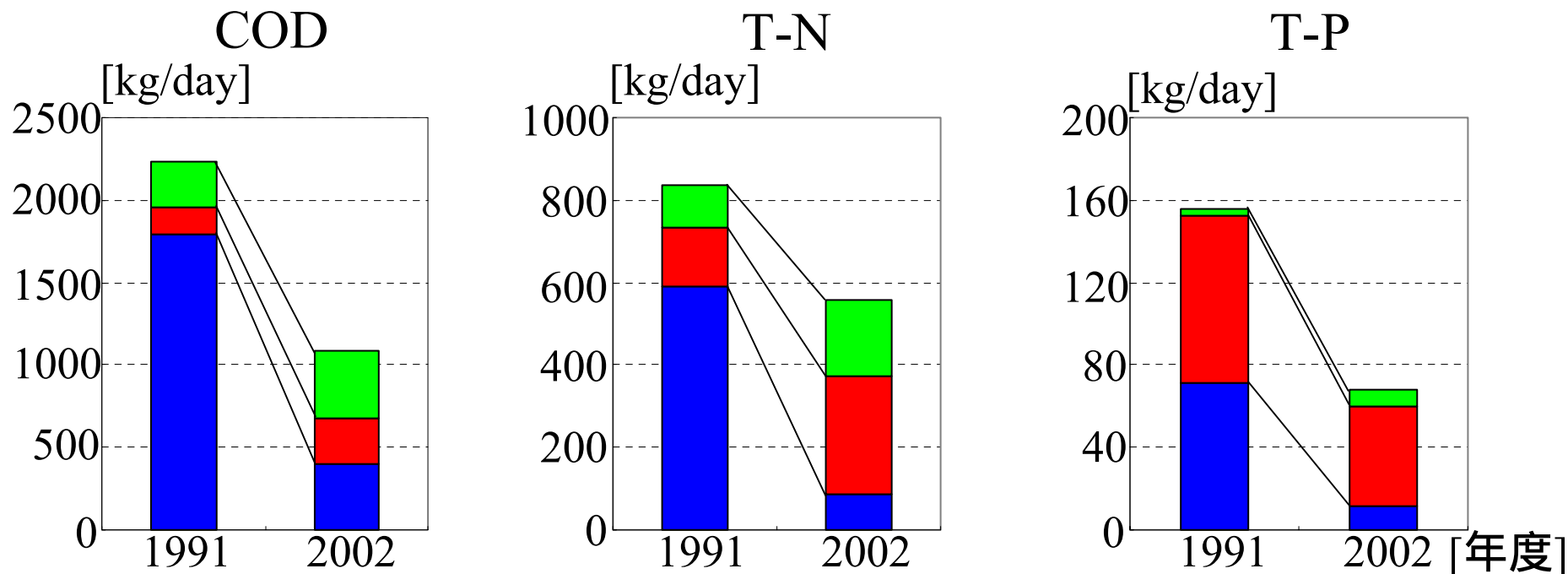
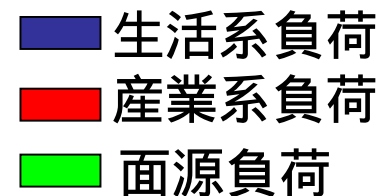
➡ 平常時と8つの洪水イベント時のデータを採用



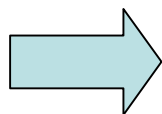
$L=0.339Q^{1.28}$  ( $r=0.941$ )という相関式をL-Q式として採用

## 解析結果④：過去と現在の比較

～1991年(小林・平間)と2002年の解析結果～



- ・下水道の整備に伴う生活系負荷量の大幅な削減
- ・産業系負荷は増加した水質項目もある
- ・全負荷量に対する面源負荷の寄与が相対的に増加



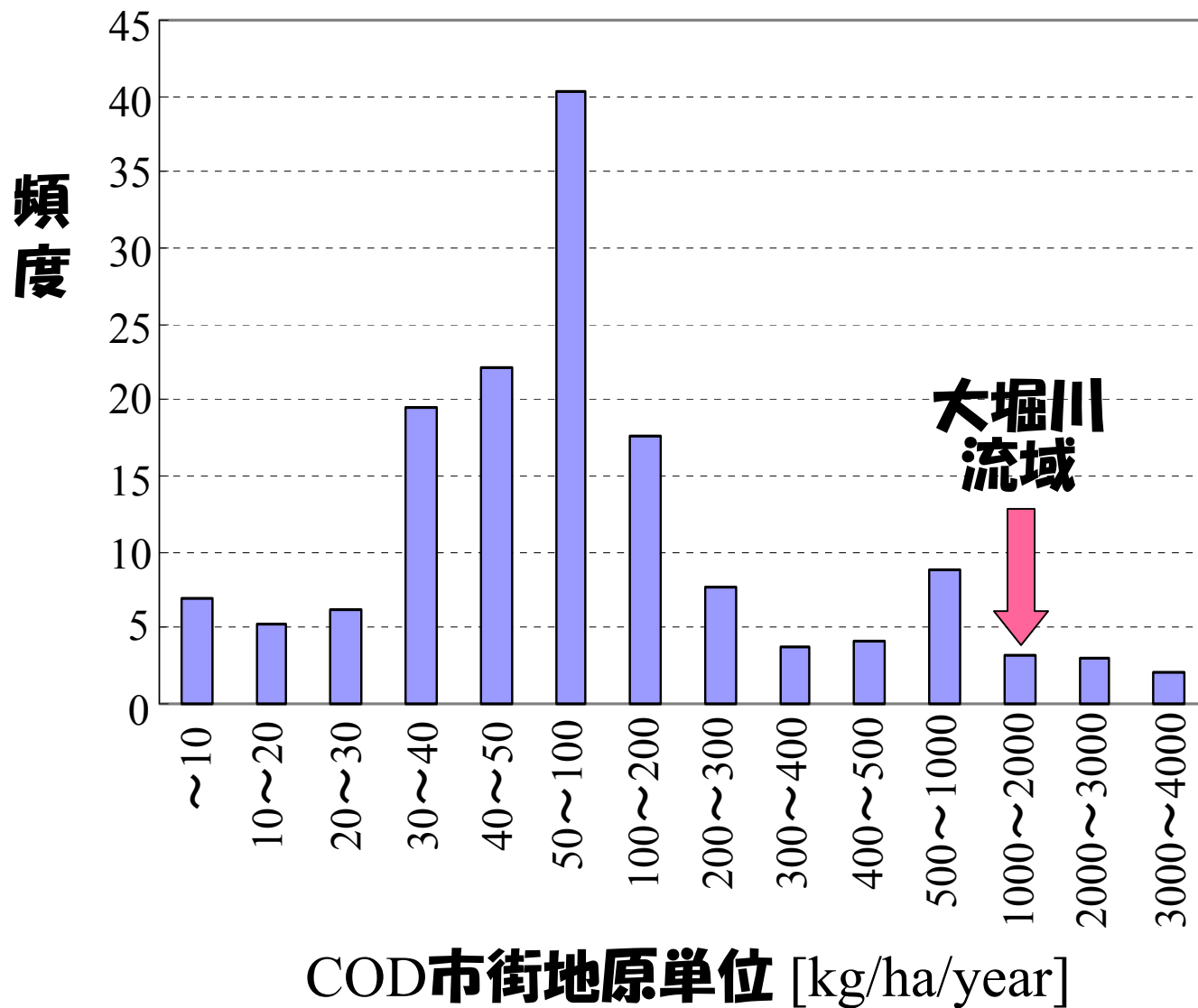
次に、面源負荷の原単位について検討する

# 既存の原単位リスト(面源・市街地)

		調査地域			汚濁負荷量原単位 : kg/ha/年			調査年	算定根拠			
		県名	都市名	地区名	T-N	T-P	COD		排水面積 (ha)	年間水量 (mm)	流出率	人工密度 (人/ha)
1	その他	山形県	山形市	緑町	17.6	3.0	90	1979		1,163	0.37	70.6
2	指定湖沼	宮城県		釜房ダム	6.8	0.97	42.5		流総指針(H8)による。			
3	その他	茨城県	牛久市	住宅団地	5.0	0.6	43	1994~1995	67			—
4			つくば市	飲食店街	7.8	0.8	71	1995	5.26			—
5		千葉県	千葉市	さつき	19.1	0.9	55	1982		1,460	0.19	130
6		千葉県	我孫子市	住宅団地	11.6	0.9	45	1993~1994	15.88			—
7	指定湖沼	千葉県		印旛沼・手賀沼	17.16	0.58	18.83		「非特定汚染源による汚染対策防止調査」 (県水保研57年)			
7					11.97	0.61	40.88					
8	その他	長野県	茅野市	住宅団地	39.6	3.0	222	1994	7.81			—
9			岡谷市	幹線道路に接した住宅団地	11.1	2.7	126	1995	5.5			—
10		滋賀県	大津市	上流は住宅地、 下流は駅前商店街	6.4	0.7	34	1995	66.18			—
11	指定湖沼	滋賀県		琵琶湖	14.09	0.73	52.56		土木研究所調査による。			
12	その他	兵庫県	神戸市	花隈	34.2	5.8	208	1980		1,385	0.35	162
12				花隈	23.1	1.9	159	1973~1975	17.17	1,317	0.58	157
13		兵庫県	神戸市	北須磨	11.1	0.9	101	1976~1979	26.75	(S.58)	0.65	121
14				志賀町	住宅団地	8.5	1.9	53	1994	46.71		
15	指定湖沼	岡山県		児島湖	14.09	0.73	52.56		土木研究所調査			
15					12.30	0.56	31.46		岡山県調査			
16		鳥取県		宍道湖・中海	15.70	0.80	54.56					
16					16.79	0.84	58.40					
17	その他	福岡県	北九州市	朝日ヶ丘	33.5	6.5	378	1981		1,690	0.52	138
18				(中都市)	4.5	1.6	34	1974	13.69	1,200		71.2
19				(大都市)	14.1	1.3	102		17.17	1,367		152.2

(出典:国土環境)

# 既存の市街地原単位(COD)の頻度分布

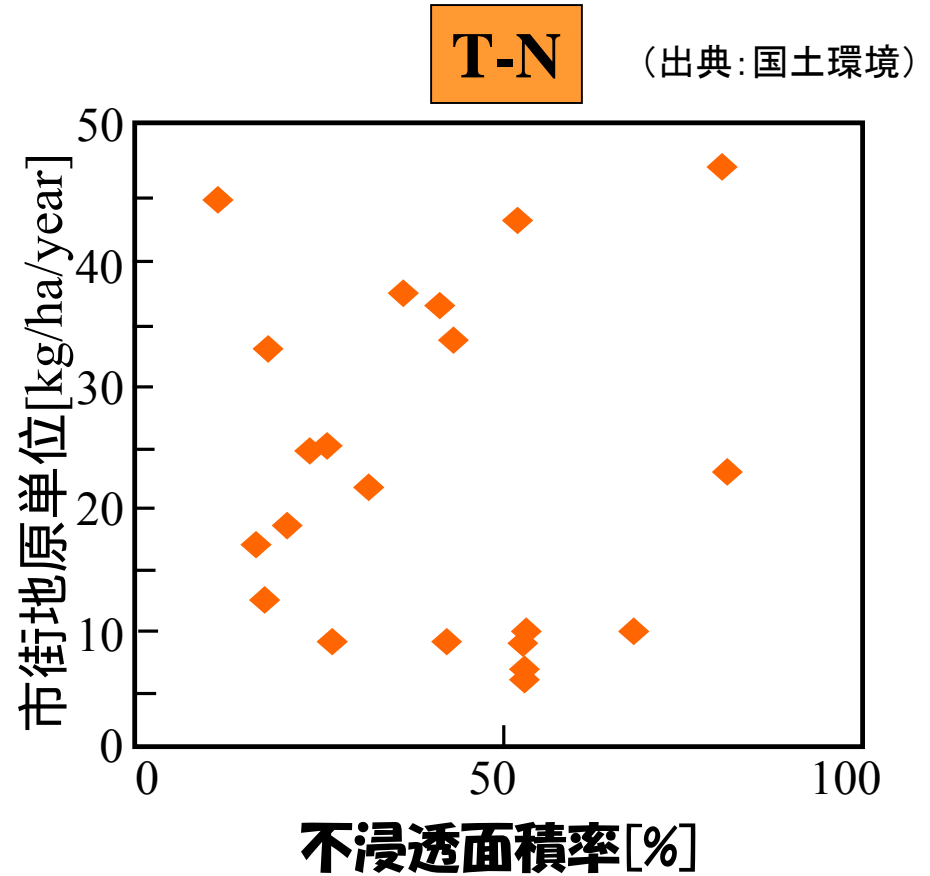
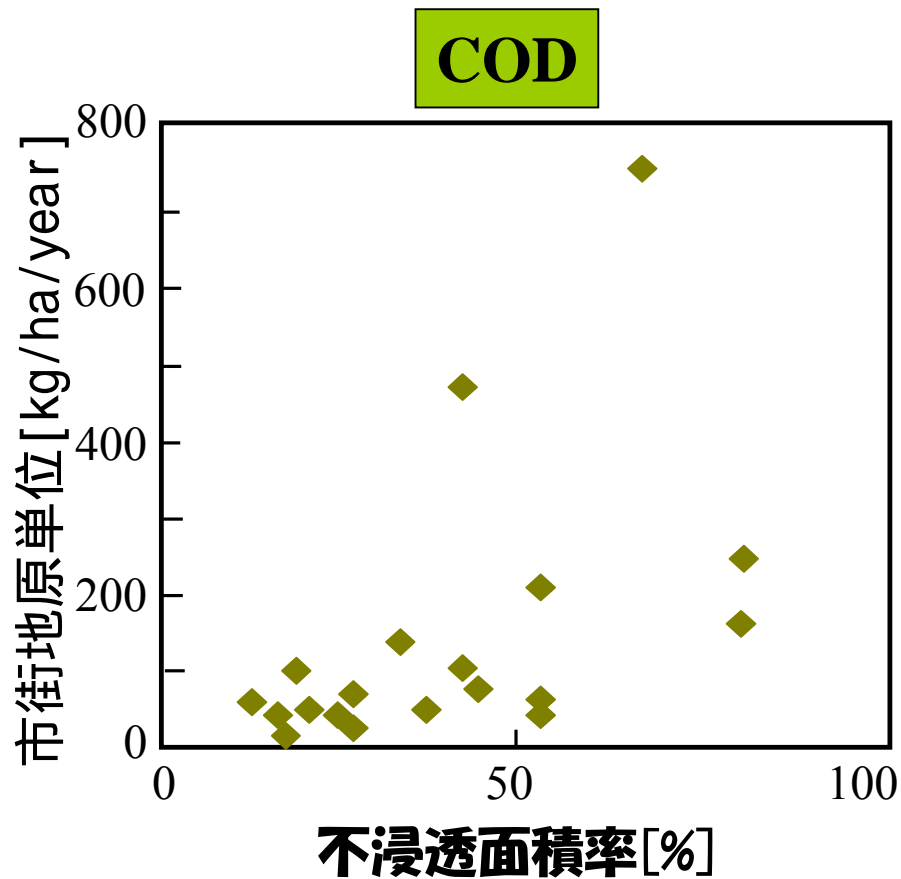


非常に幅広く原単位  
が分布している

大堀川  
流域

(出典:国土環境)

# 市街地原単位の決定要因の検討：不浸透面積



**原単位は不浸透面積を含めた諸要素との明確な相関関係は存在しない!**



# 原単位法のまとめ

## (長所)

- ・極めて簡便なやり方で汚濁負荷量(流入負荷量)を算定できる.
- ・点源負荷の推定精度は概ね良好である.

## (短所)

- ・面源負荷の経年変化の評価が困難である.
- ・流入負荷の時間変化(季節変化, 日変化)を記述できない.
- ・原単位の決定方法が経験的で物理的な意味が不明である.
- ・将来予測の適用性には疑問がある.

↓  
面源負荷(市街地)の素過程に注目

市街地の中の道路面・屋根面の堆積負荷調査を実施

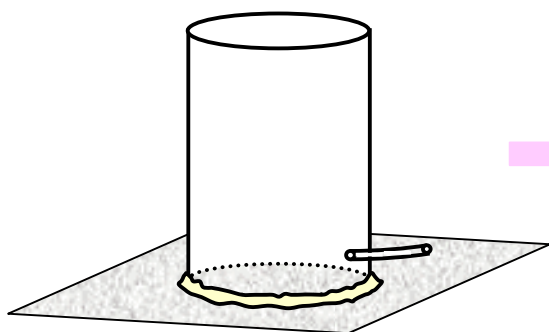
# 路面堆積負荷調査方法(模擬降雨法)



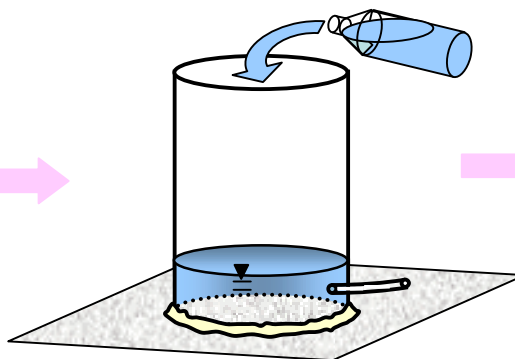
採取作業が簡易

容易に多地点や多時点による  
路面堆積塵埃採取が可能

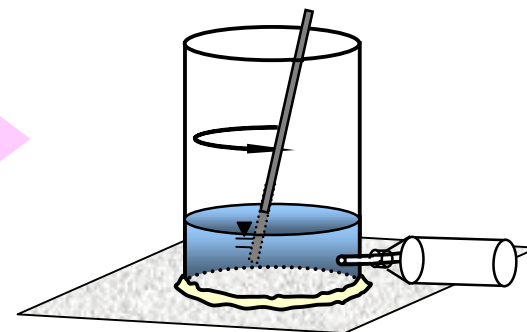
降雨による流出過程を模擬



①円筒容器を所定の  
位置に設置



②蒸留水2Lを注入



③攪拌棒で攪拌しながら  
採水

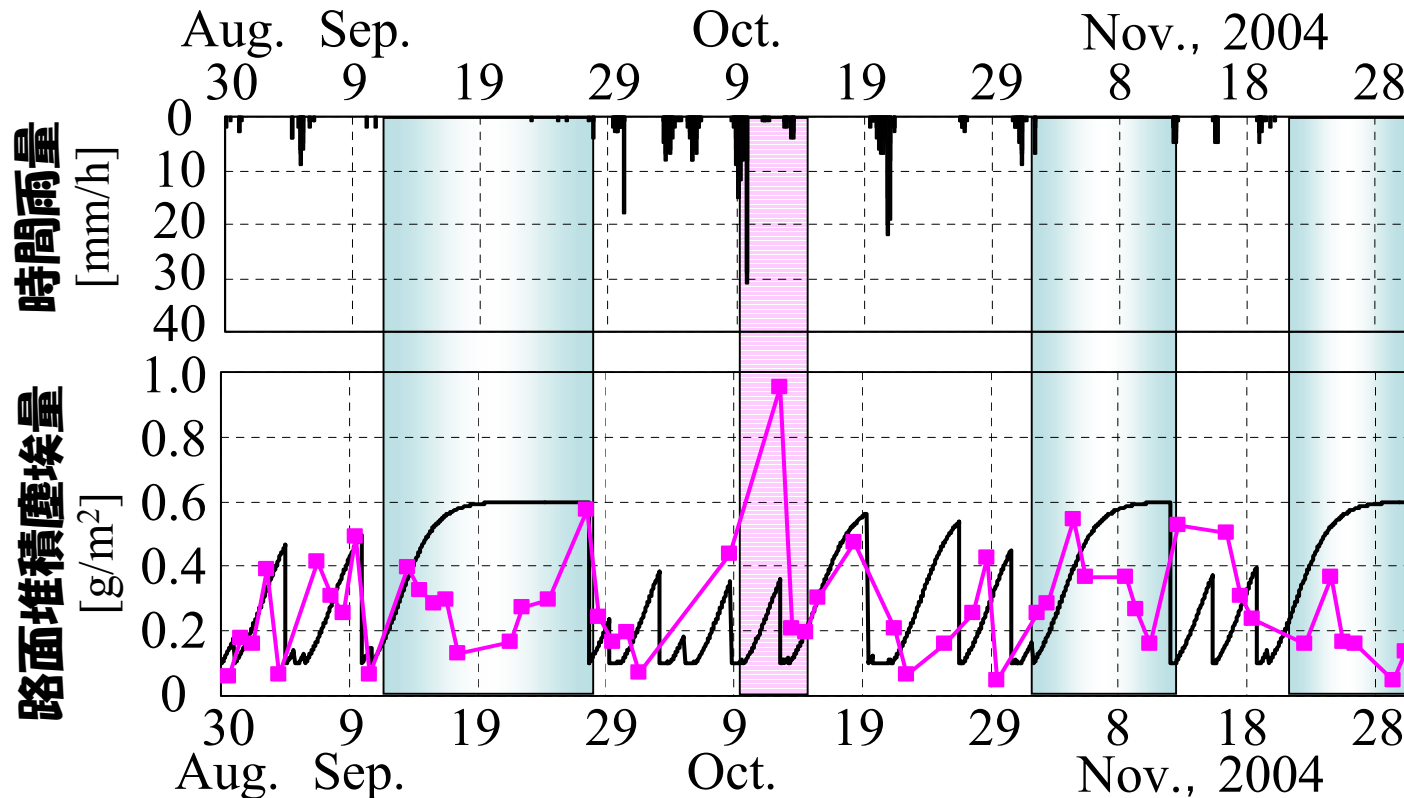
# 路面堆積負荷調査結果

— 推定値  
 ■ 観測値

堆積負荷モデル

$$M_{cal} = \frac{a}{1 + b \exp(-cT)}$$

$a=0.60\text{g/m}^2$  ,  $b=5.0$  ,  $c=0.03\text{h}^{-1}$  ,  $T$ =先行晴天時間

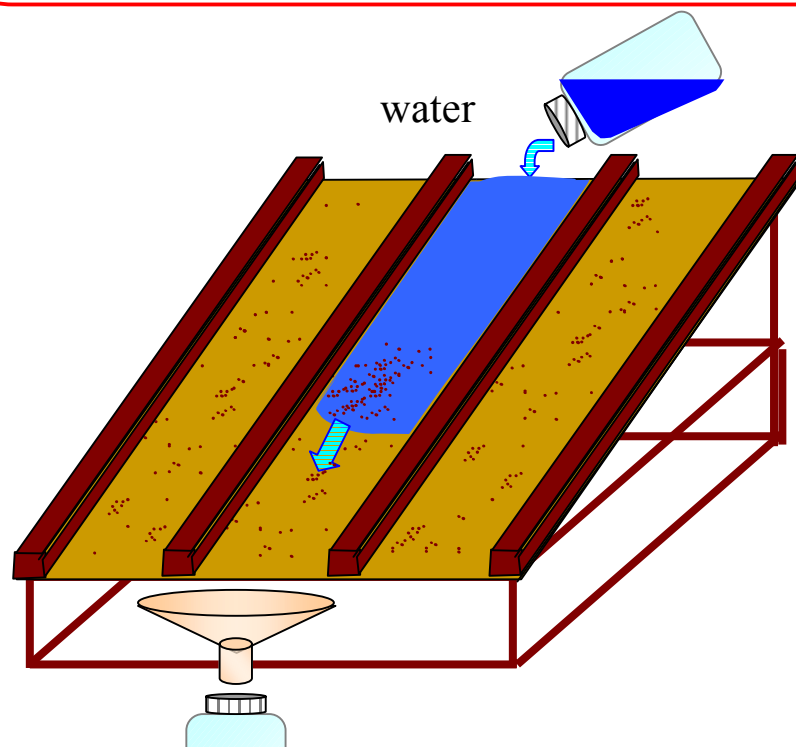


観測値と計算値の時間変動パターンは類似しているが相違点も多く、雨量の関数である既存の路面堆積負荷モデルで全てを表現できないことを示した。

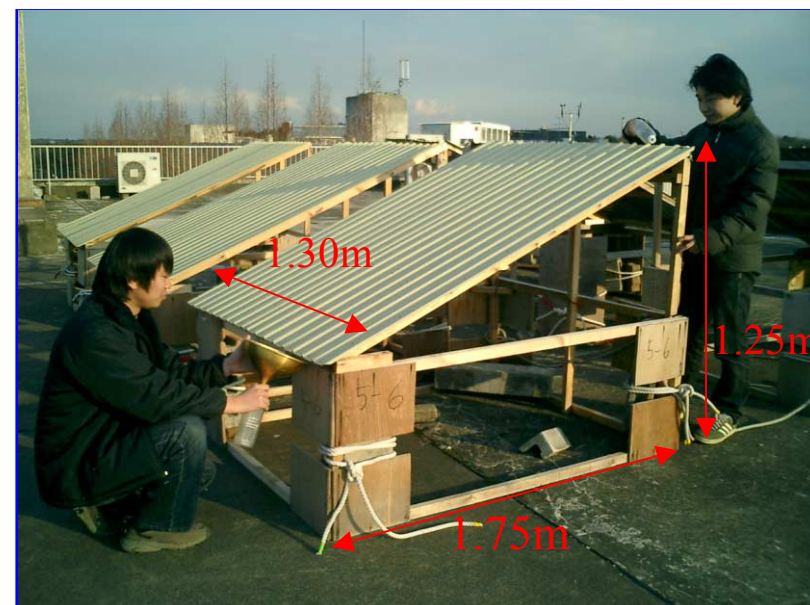
# 屋根面堆積負荷調査

## 調査の特徴

- 人工屋根を使用（理科大校舎屋上に設置）
- 屋根の窪み部分に水を流し、その水を採取して濁度の分析を行う。
- ➡ 降雨状況を簡易に模擬するため
- ほぼ毎日調査を実施（2005年9月～）。

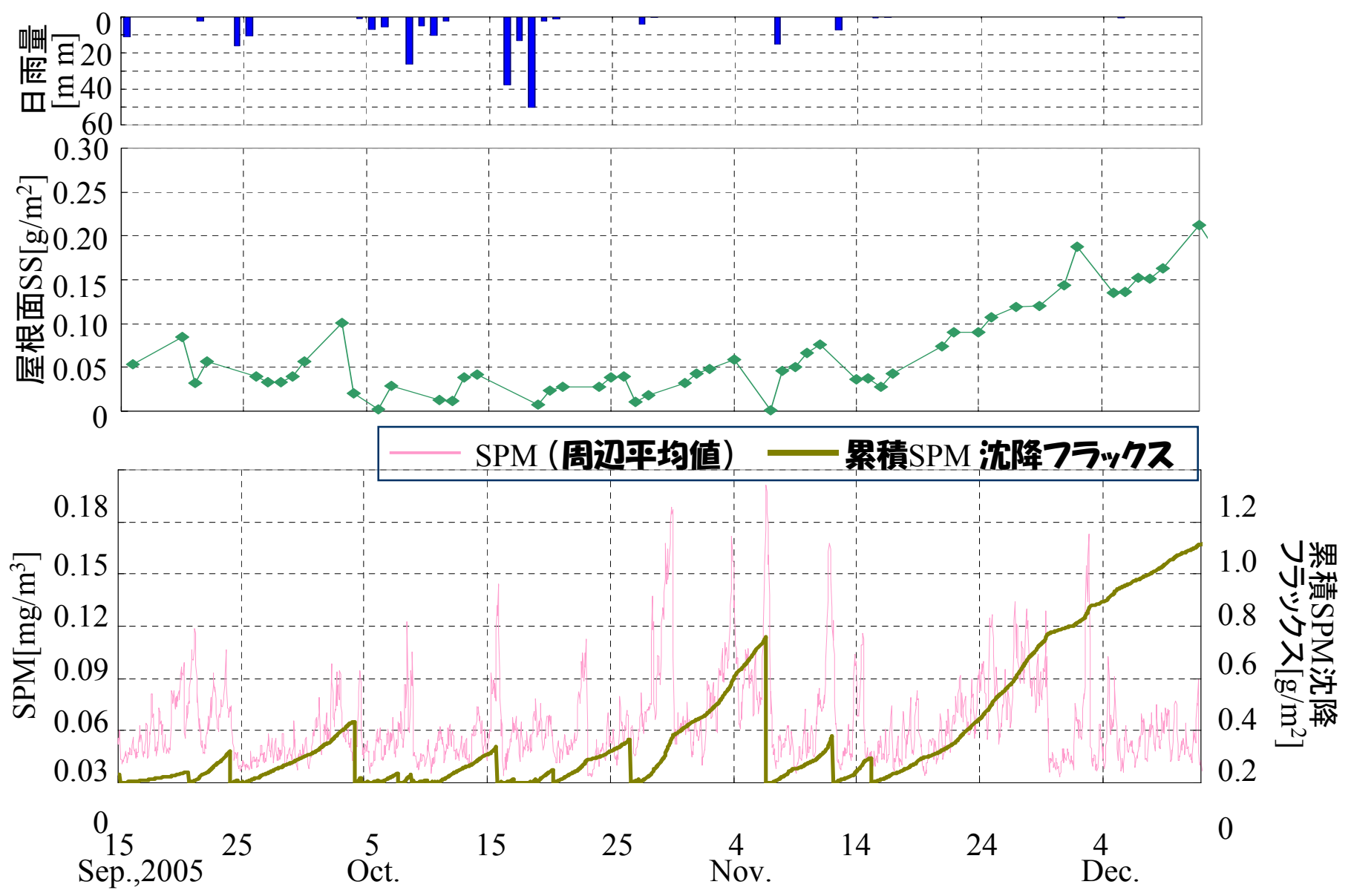


調査で用いられた屋根群

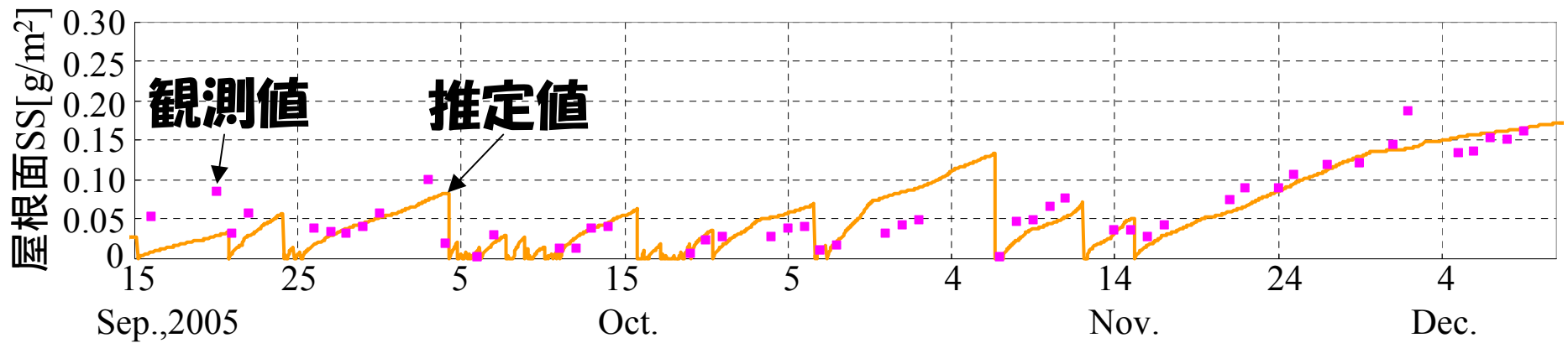
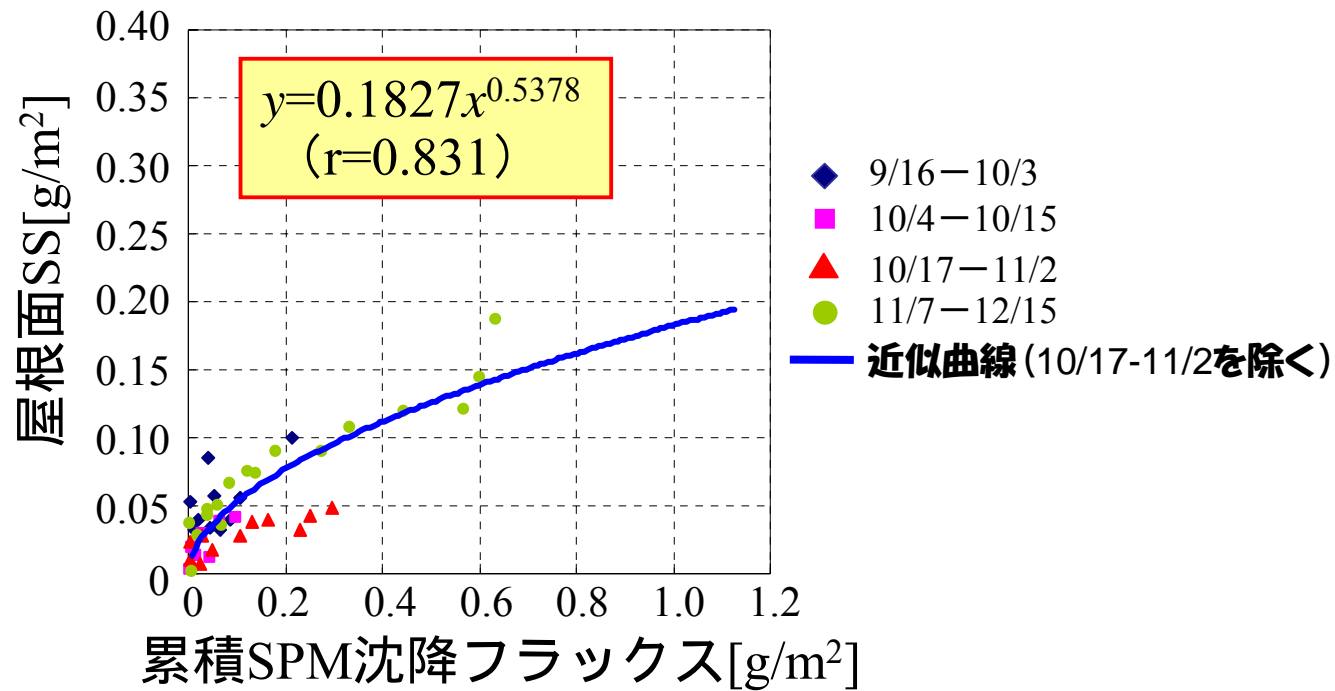


観測の様子

# 屋根面堆積負荷 (SS) の時間変化



# 屋根面SSと大気環境 (SPM) の相関関係



## 流入河川実測法について

- ①  $L$ - $Q$ 式の適用性や限界
- ② 計測位置による流入負荷量の違い
- ③ 流量, 土砂濃度自体の計測精度

## ① $L$ - $Q$ 式の適用性の検証

### 自動水位・水質観測所のデータ

項目：流量（野田），COD（流山）

時間間隔：1時間

期間：2002年～2004年の3年間



## 簡易的な負荷評価法

① 区間代表法（毎月1個の低水時データのみに基づく方法）

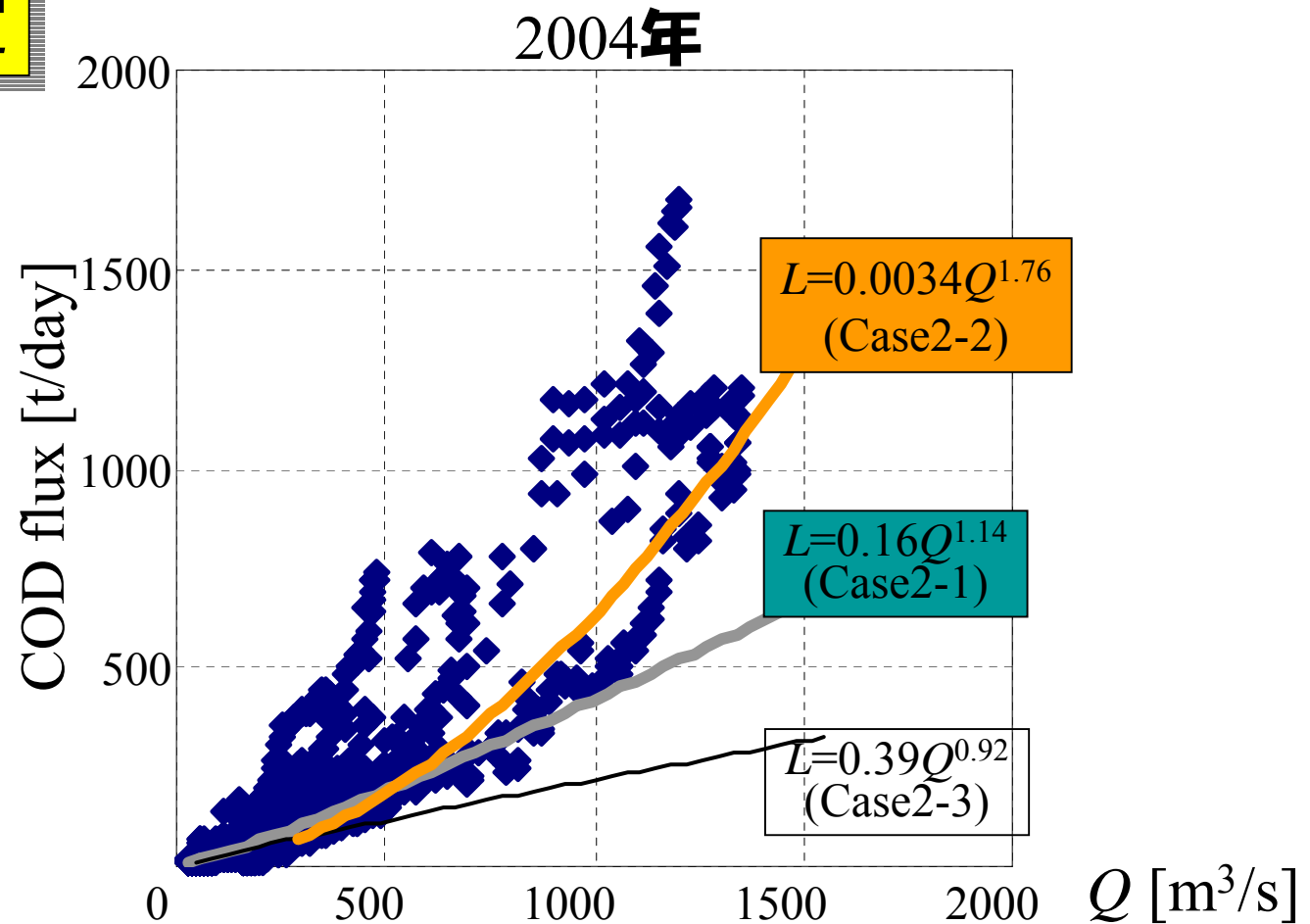
Case1

②  $L$ - $Q$ モデル（COD負荷量 $L$ と流量 $Q$ の相関式を用いる方法）

Case2



## L-Q式の選定



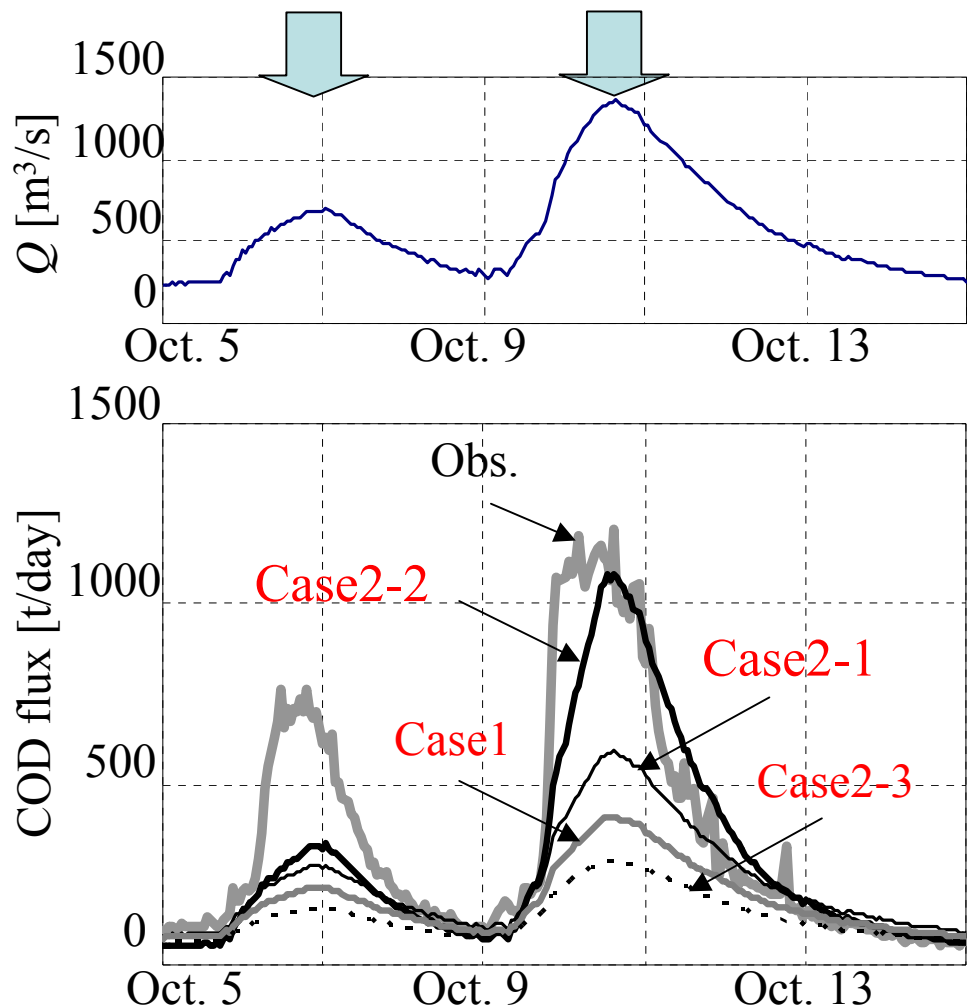
- Case2-1 : 全データ
- Case2-2 : 洪水時のみ
- Case2-3 : 低水時のみ
- Case2-4 : 低水時と洪水時の組み合わせ

## 解析結果：年間負荷量の算定

		2002年	2003年	2004年	
実測値[kt]		16.1	13.3	14.8	
割合 [%]	Case1	71.0	69.8	71.0	区間代表法
	Case2-1	87.8	85.7	80.8	<i>L-Q</i> 式（全テータ）
	Case2-2	86.7	51.3	51.8	<i>L-Q</i> 式（洪水時）
	Case2-3	59.8	67.4	63.9	<i>L-Q</i> 式（低水時）
	Case2-4	94.6	76.7	80.4	<i>L-Q</i> 式（組み合わせ）

- *L-Q*式の選定により、ある程度の精度で推定可能
- 区間代表法（Case1）でも30%程度の過小評価

# 解析結果：COD負荷量の時間変化



Case1: 区間代表法

Case2-1:  $L$ - $Q$ 式 (全データ)

Case2-2:  $L$ - $Q$ 式 (洪水時)

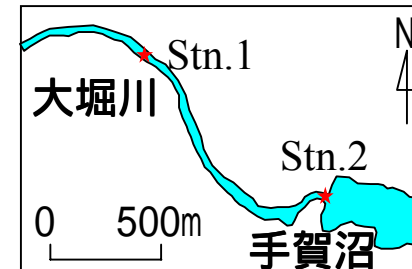
Case2-3:  $L$ - $Q$ 式 (低水時)

Case2-4:  $L$ - $Q$ 式 (組み合わせ)

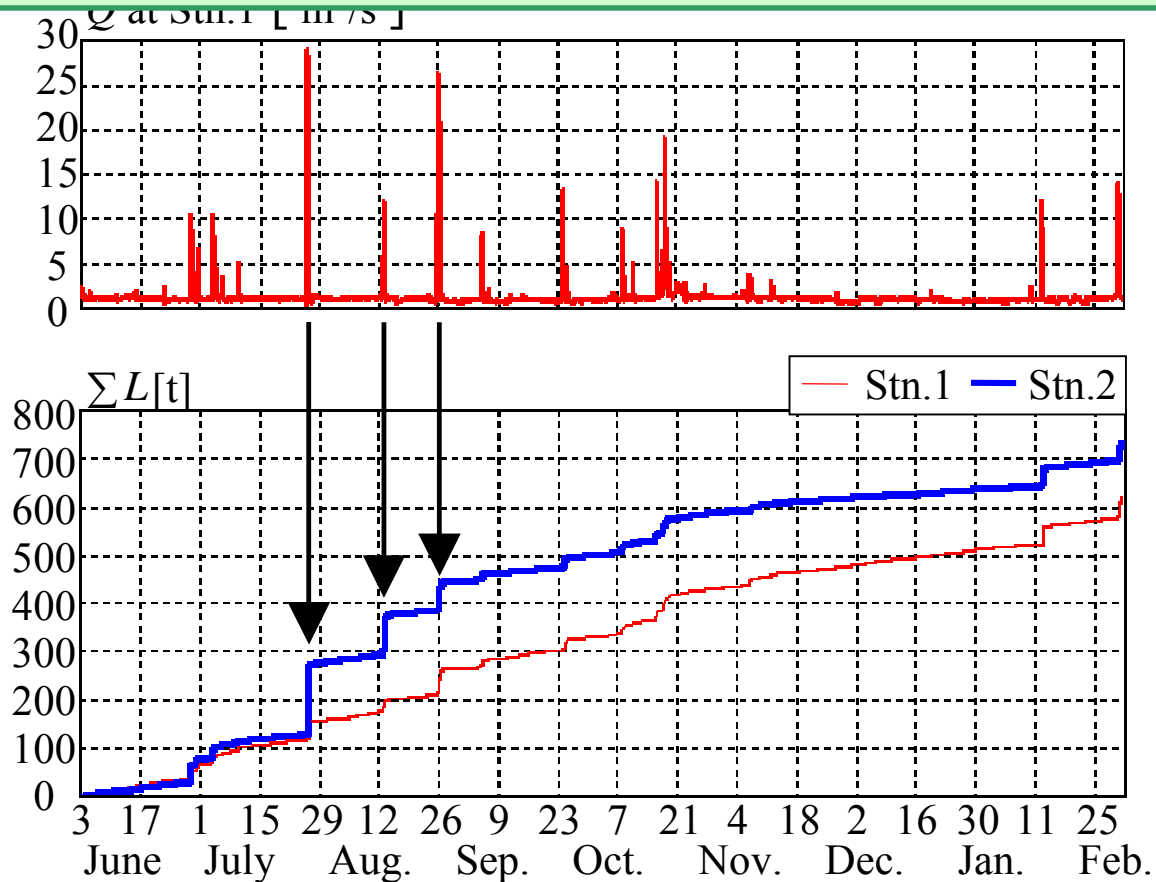
洪水時における推定精度はどの手法でも著しく低下する

## ②計測位置による流入負荷の違い

～通常の負荷調査点 (Stn. 1) と接続点 (Stn. 2) における土砂輸送量の比較～



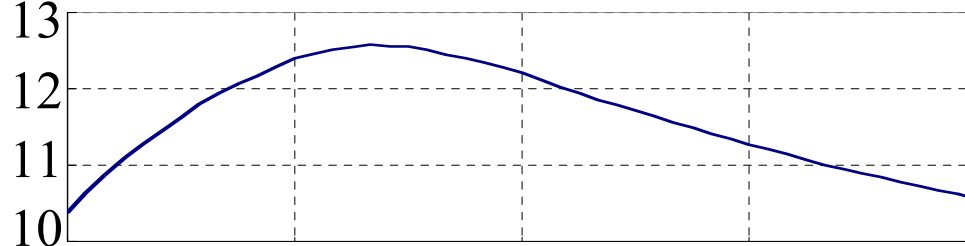
### 流量 (Stn. 1) と累積SSフラックス $\Sigma$ (SS×流量)



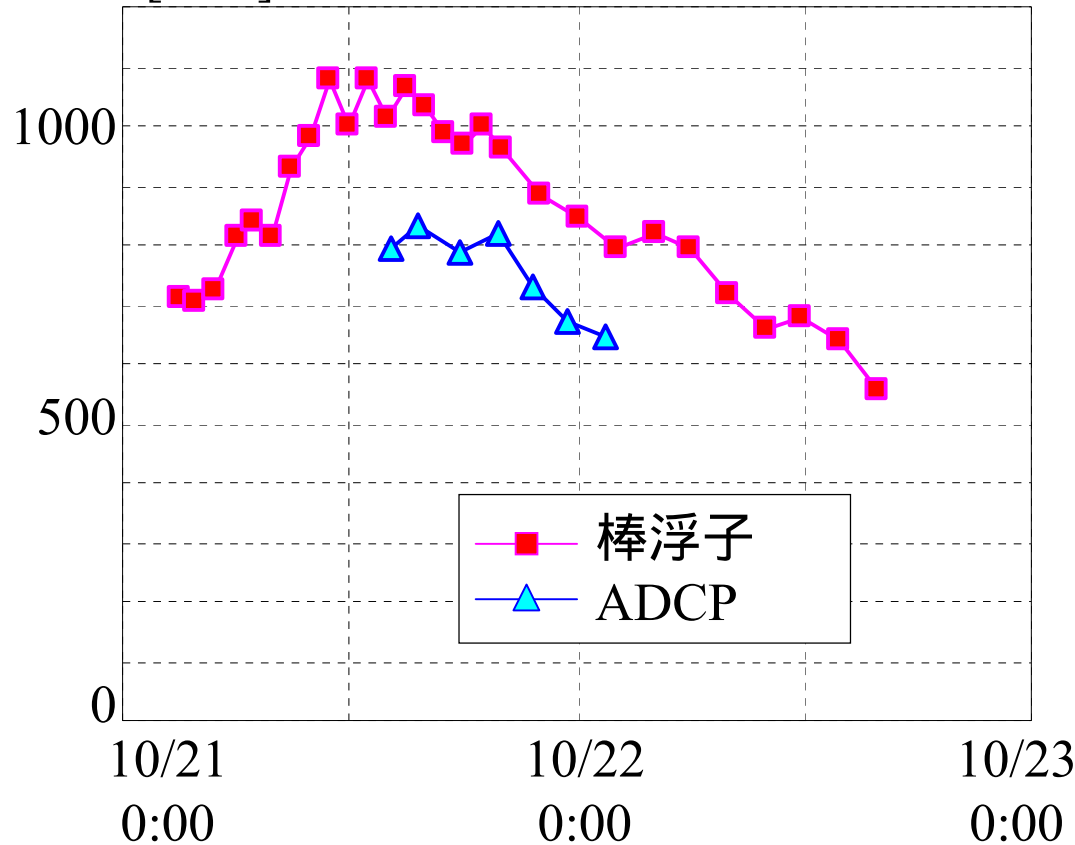
### ③流量・土砂濃度自体の計測精度

～浮子とADCPの流量(新関宿橋, 台風0423号)～

水位 [Y.P.m]



流量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]



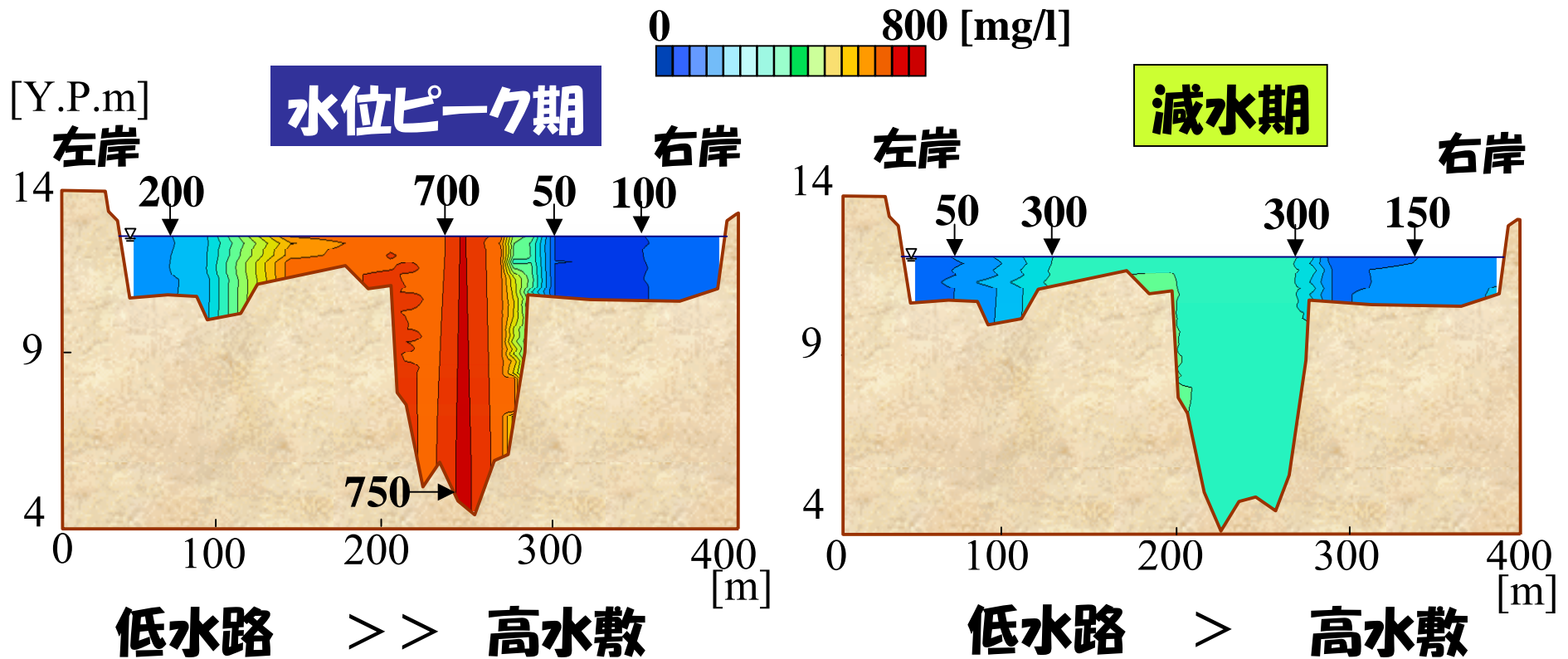
平均流量

棒浮子 :  $954 \text{ m}^3/\text{s}$

ADCP :  $754 \text{ m}^3/\text{s}$

### ③流量・土砂濃度自体の計測精度（その2）

横断面内のSSコンター（台風23号，新関宿橋）



SSの横断方向変化が顕著（低水路SS>>高水敷SS）

# 今後必要となること

▼道路、屋根等の個別原単位データの整備や非定常負荷モデルの開発

 将来予測に適用  
分布型水・物質循環モデルの基礎データ提供

▼湖沼・沿岸環境評価の観点から、「どの程度の精度・頻度・時空間分解能の流入負荷データが必要か」という議論を進展させる。

▼流量や水質濃度データの計測精度(特に洪水時)を向上させる。