

下水処理水の水環境への影響

調査研究科
和波 一夫

報告する内容

- 研究の背景
- 調査結果
- 今後の課題

多摩川の水質汚濁のピーク時

昭和45年9月(1970年)、
水質の悪化により、
玉川浄水場は水道原水
としての取水を停止した

写真は、当時の田園調布堰
(東京都水道局調布取水所)

写真: 東京都水道局



水質が改善した多摩川



3月下旬 マルタウグイの遡上



マルタウグイの雌



姿を消していたマルタウグイが近年、春先、大量に遡上

きれいな水に棲息するアユが戻ってきた



稚魚

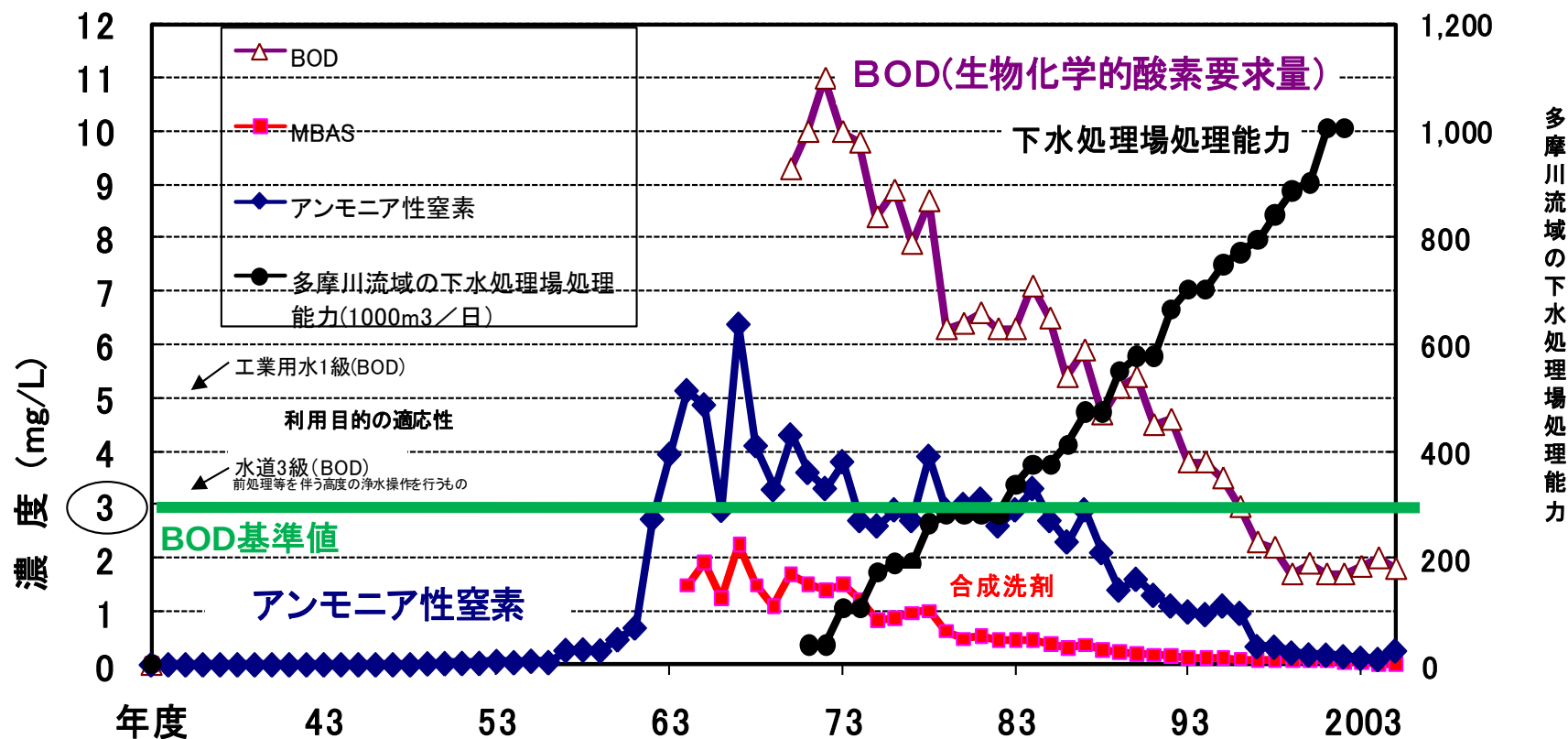
写真：東京都島しょ農林水産総合センター HP

田園調布堰 多摩川の水質 経年変化

水道局(1950-2003年度の日常試験データを使用)

(2004-2005年度の月一回試験データを使用)

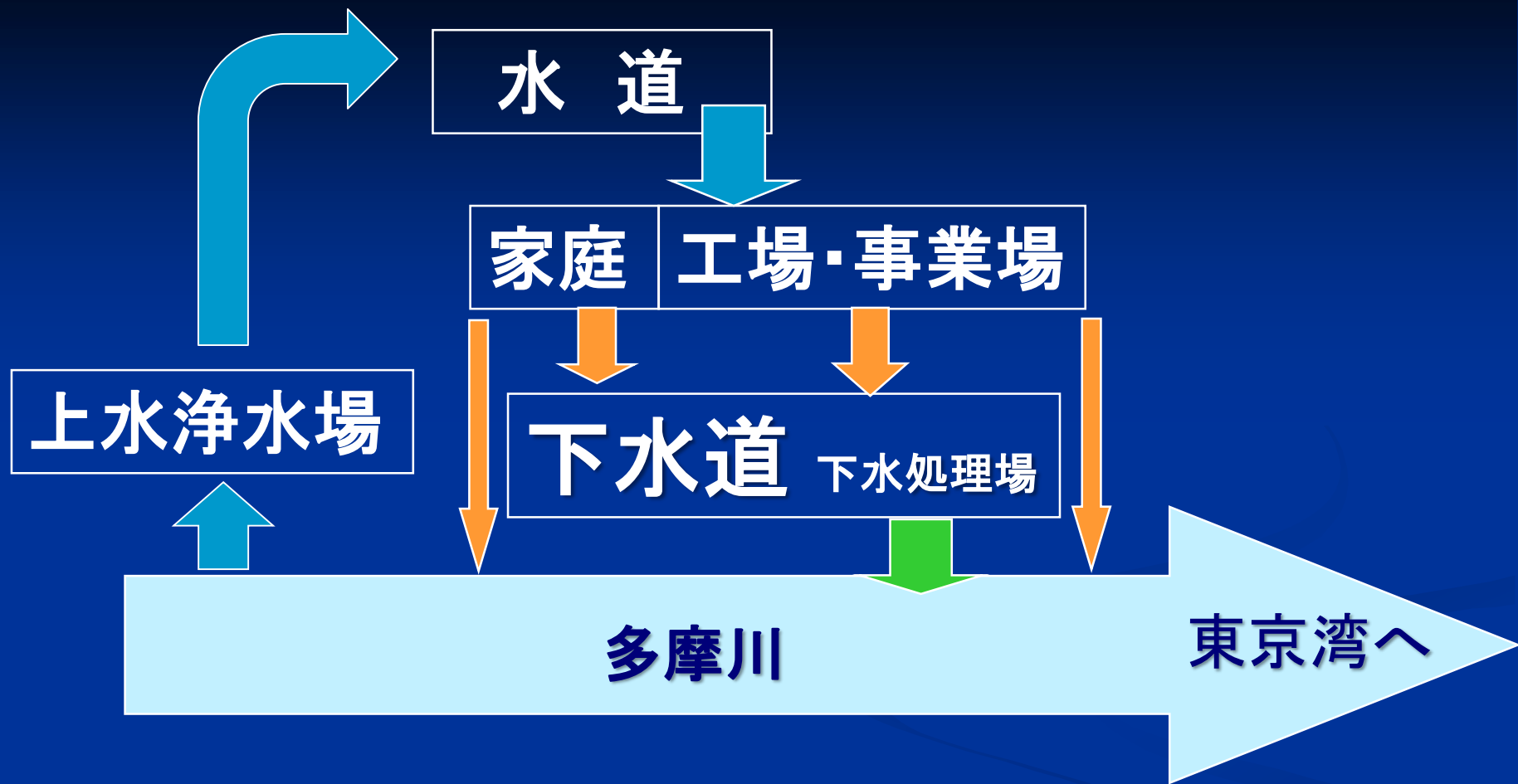
($\text{km}^3/\text{日}$)



データ出典: 水道局資料、下水道局資料、環境局資料

研究の背景（１）

- 排水規制、下水道普及→ 水質改善
- 下水道普及率は区部100%、市町村部97%
（平成19年度末）
- 生活排水や工場排水が河川へ直接流入することはほとんどなくなった
- 下水処理水量は増加し、河川水量に占める下水処理水の割合が高くなった



水の利用と排水

研究の背景 (2)

- 東京都環境基本計画

「都民が安心して水に親しめ、多様な生物が生息する水環境」の実現

- 下水処理水量 → 増加

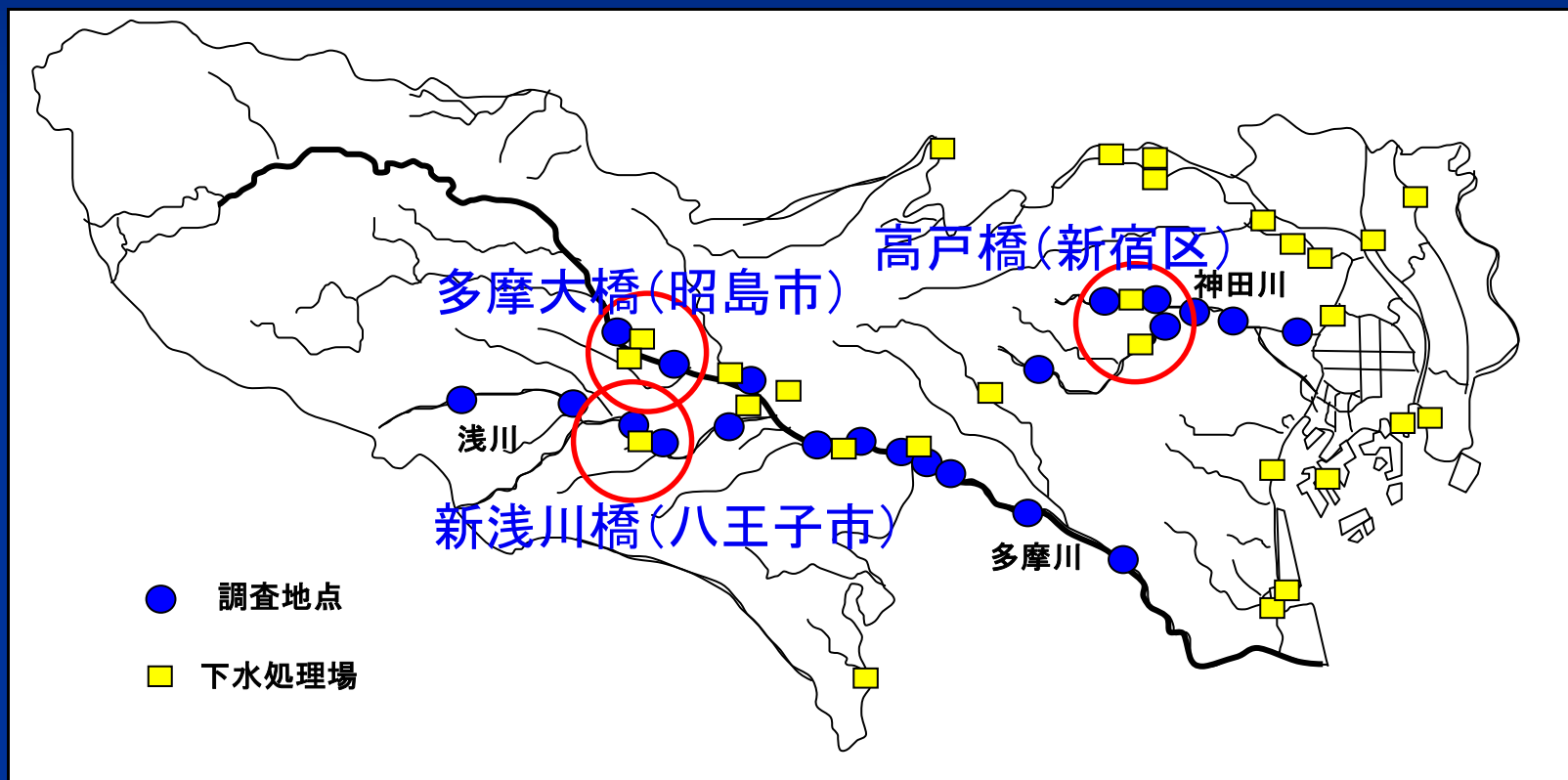
処理水が河川水質に与える影響

- 処理水の水環境への影響を評価し、今後の課題を整理しておくことが必要

研究テーマ

- 下水処理水の水環境への影響に関する研究
- 2005年度 神田川
- 2006年度 浅川
- 2007年度 多摩川

主な調査地点



多摩川流域の順流部には、合計9つの下水処理場(水再生センター6、市単独処理場3)

神田川(高戸橋付近)



神田川



浅川（JR中央線鉄橋）



八王子市北野下水処理場放流口



多摩川(多摩大橋)



多摩川上流水再生センター放流水路





多摩川



浅川



神田川

調査項目

- **水量**：河川流量，処理水量
- **水質**：BOD, COD, 窒素, りん,
エストロゲンなど
- **水生生物**： 神田川（魚類, 底生動物, 付着藻類），浅川（魚類, 底生動物），多摩川（底生動物）

流量測定(神田川)

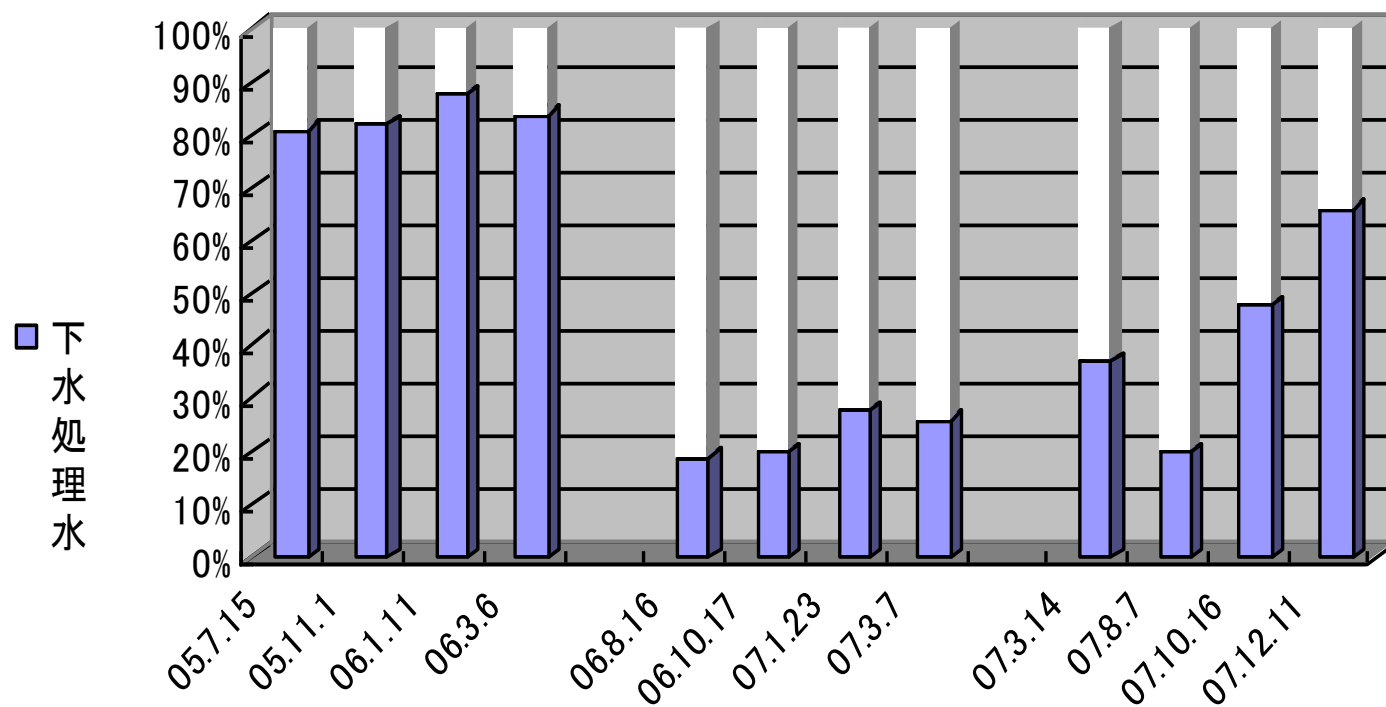


河川断面積と流速を測定



河川流量に占める下水処理水量の割合

下水処理水量は下水道局の日報値を使用



神田川

浅川

多摩川

下水処理水量の割合

- 神田川（高戸橋）では 81～88%
- 浅川（JR中央線鉄橋）では 19～28%
- 多摩川（多摩大橋下流）では 20～66%

多摩大橋下流：処理水が初めて流入する地点から下流約1.5kmの地点

代表的な水質項目での比較

■ BOD(生物化学的酸素要求量)

最も代表的な水質項目

有機的な汚れ 微生物による酸素消費量

■ COD(化学的酸素要求量)

過マンガン酸カリウムによる化学的酸素消費量

■ 窒素

栄養塩類

由来：し尿、工場排水、肥料等

■ リン

BOD (C-BOD) 水道原水利用では3mg/l 以下

- 有機的汚濁の指標であるBOD (C-BOD) は
処理水流入前の河川水は1mg/l 以下
- 処理水流入後の河川水は2mg/l 以下
- 下水処理水は3mg/l を超えることはなかった
- 増加比（処理水 流入後/流入前）は、
神田川1.5, 浅川1.3, 多摩川1.8であった

COD(化学的酸素要求量)

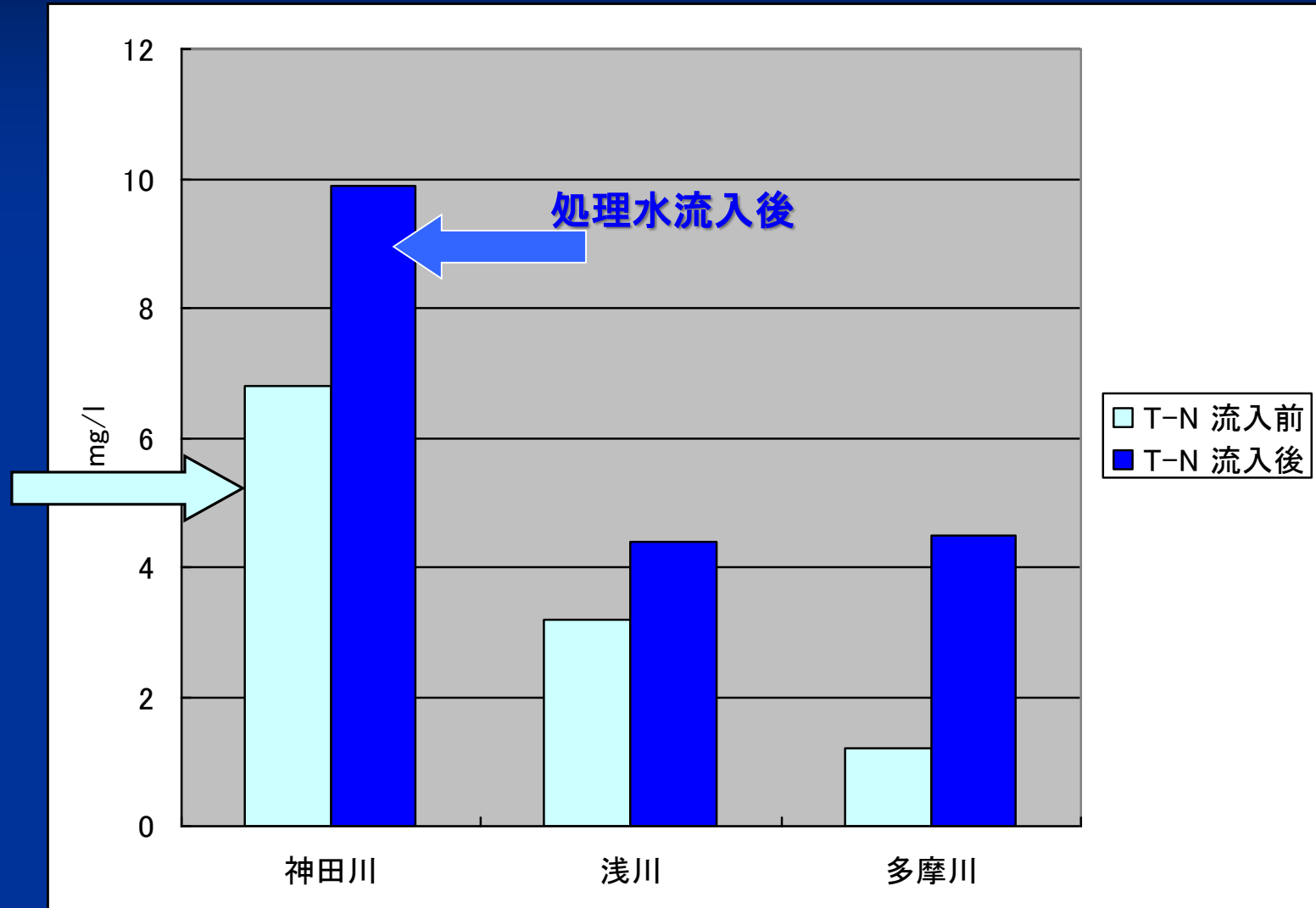
- CODの増加比は、
神田川 2.7, 浅川 1.8, 多摩川 3.0であり、BODに比べてCODは下水処理水の河川水質への影響がやや大きい
- 活性汚泥法（微生物処理）では酸化しきれなかった物質が下水処理水中に残存
- 微生物が分解できなかった物質→処理水に残存

窒素(N)、りん(P)

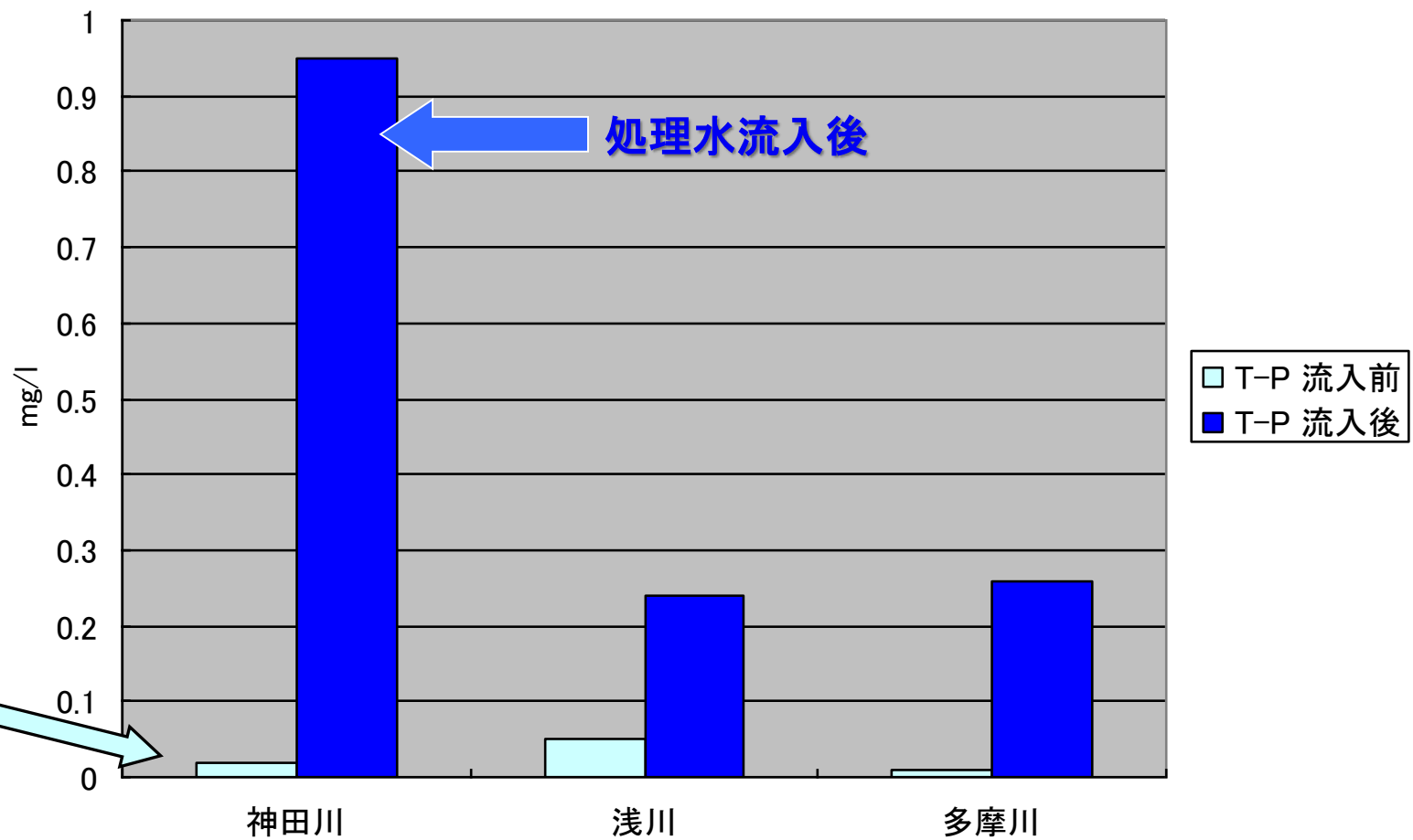
- 栄養塩
- 富栄養化物質 アオコ、赤潮の原因
- 下水処理場での除去率は、通常の生物処理では60%程度
- 除去できなかった窒素、りんは公共用水域に流入する

全窒素 (T-N)

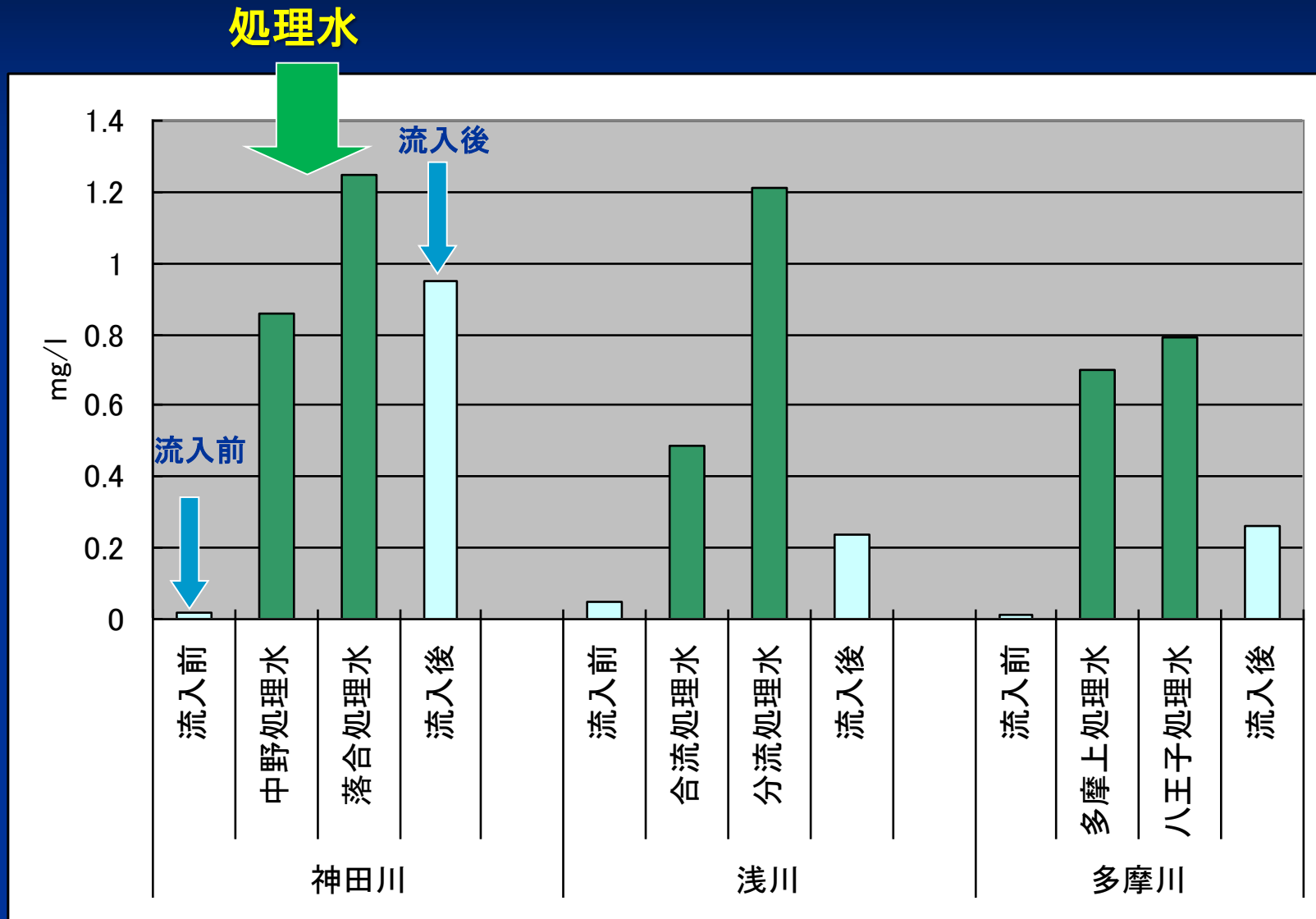
処理水
流入前



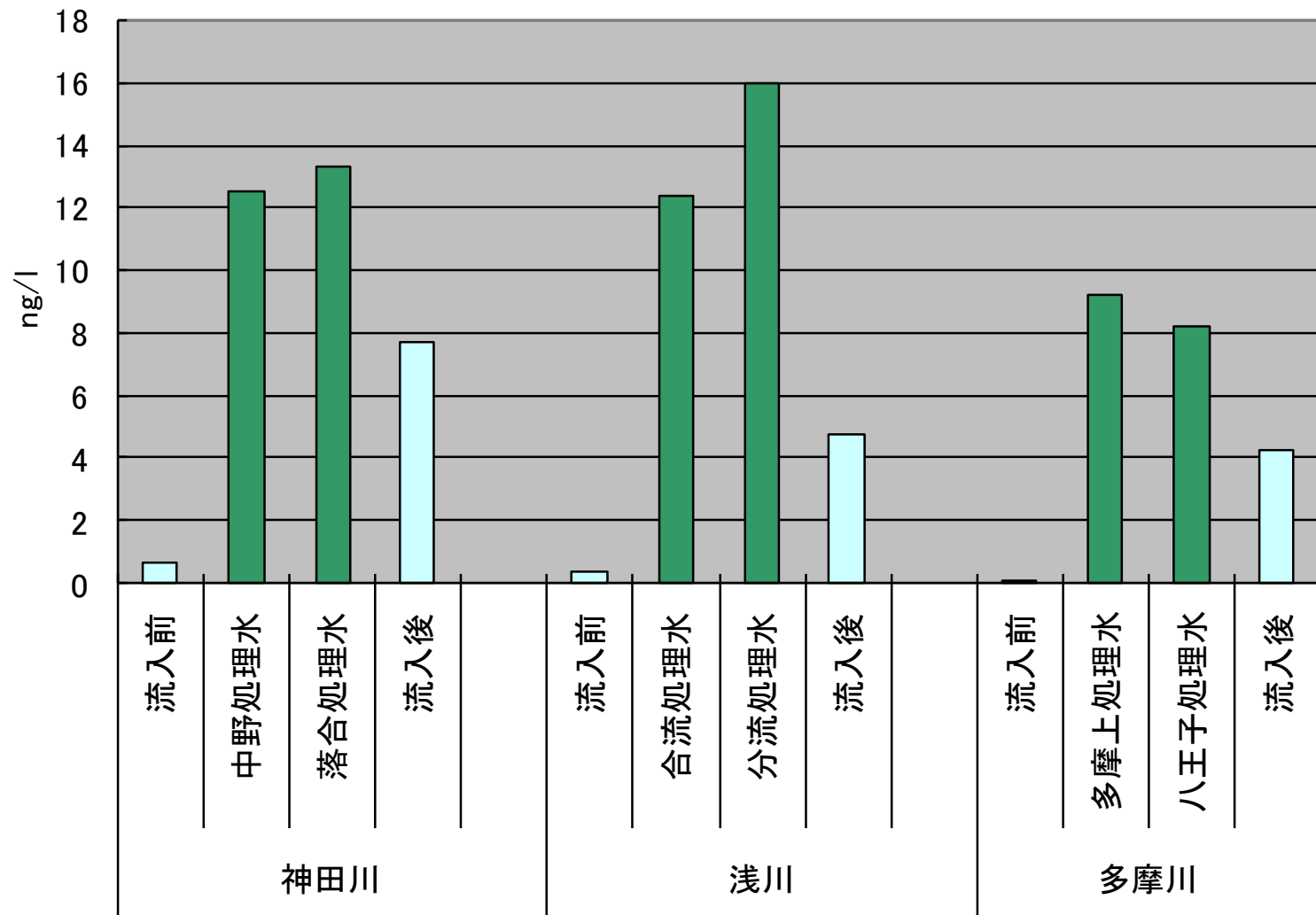
全りん (T-P)

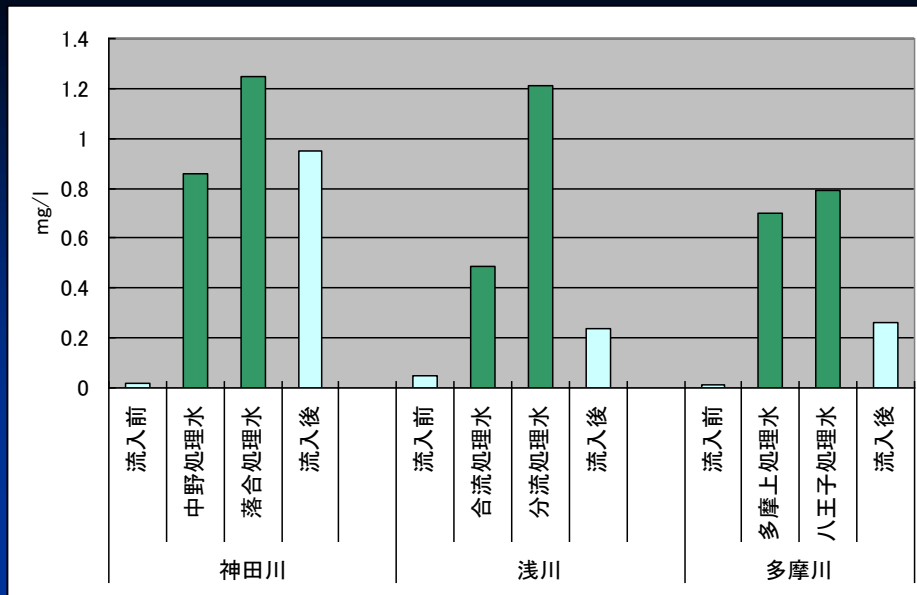


河川水、処理水の「全りん」

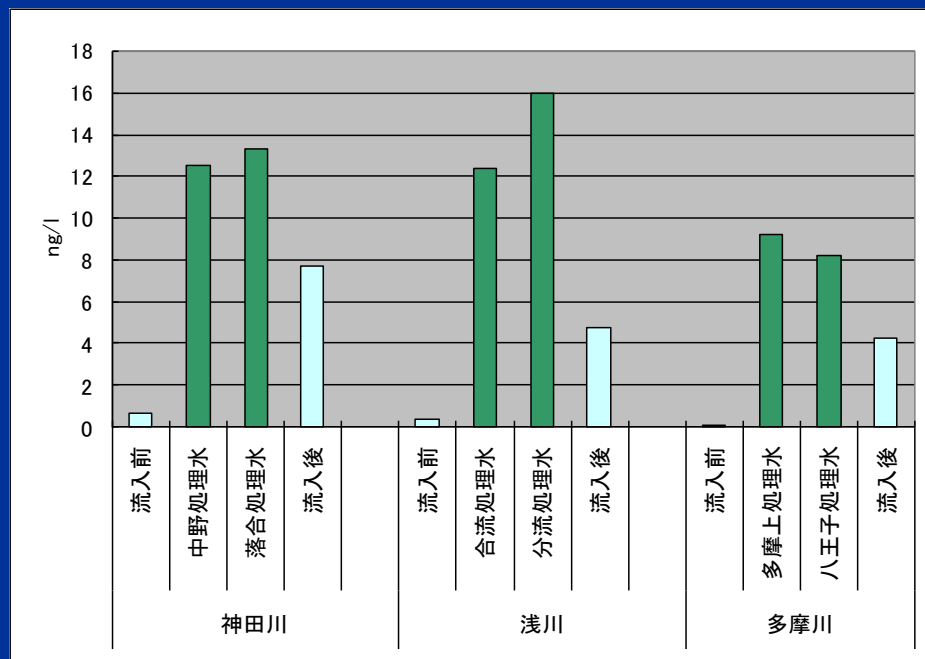


エストロゲン(女性ホルモン)





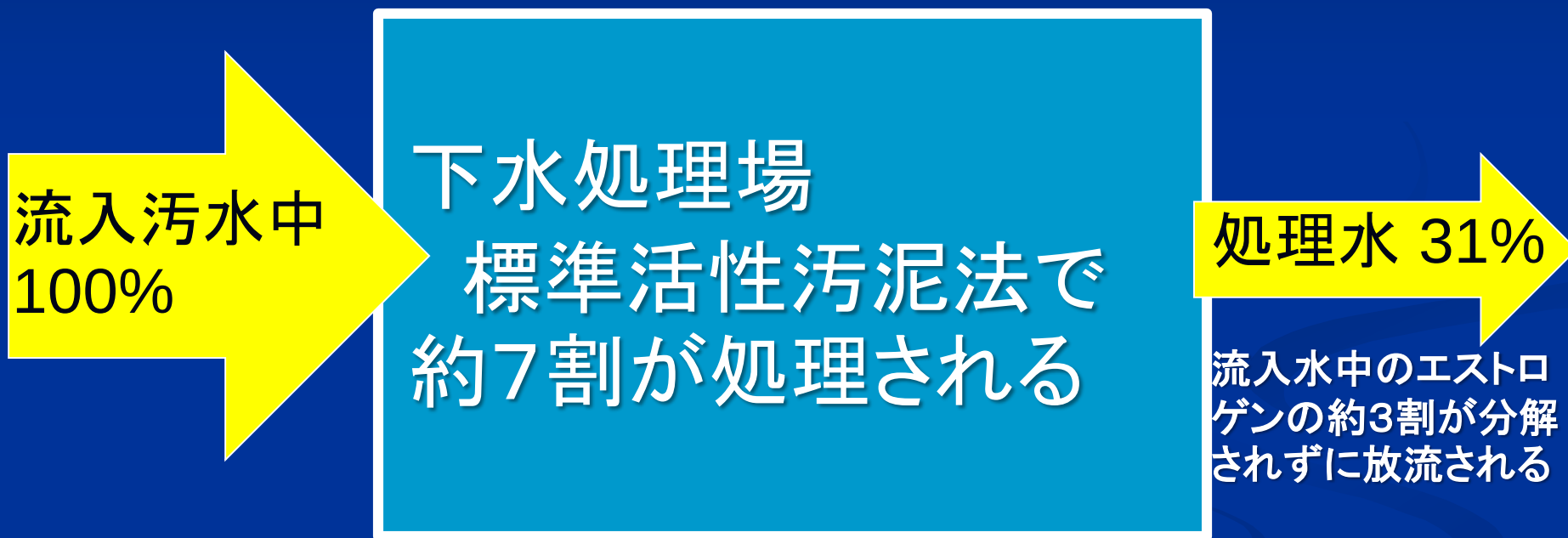
全りん



エストロゲン
(女性ホルモン)

下水処理場 エストロゲンの処理率

- 3処理場、延べ6回の24時間調査の平均



- 下水道局、国の調査でも処理率は、約7割の報告

窒素、りん等の結果

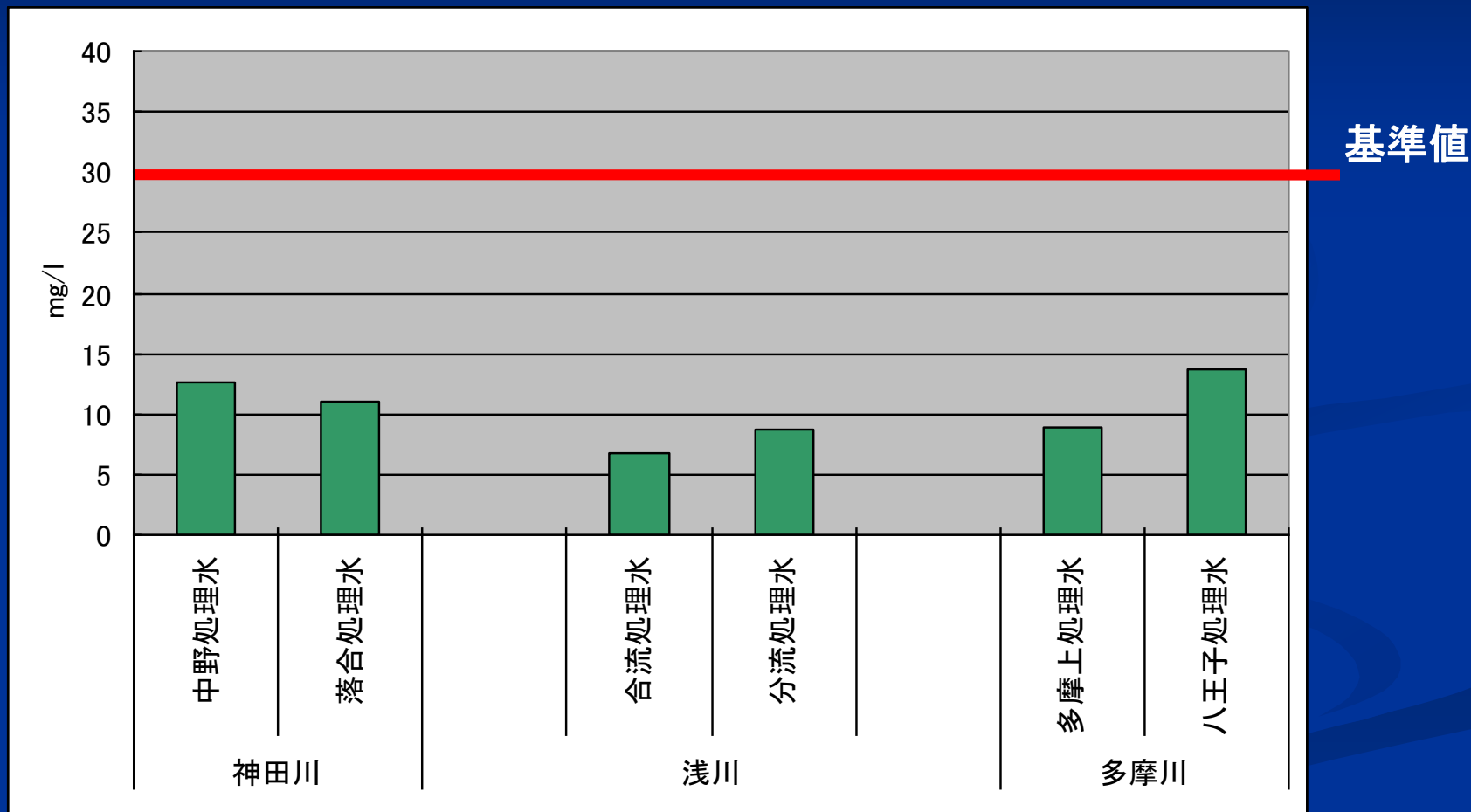
- 全窒素（ T-N ） の増加比
神田川1.5, 浅川1.3, 多摩川3.8
- 全りん（ T-P ） の増加比
神田川48, 浅川4.8, 多摩川26
- 全窒素比べて全りんの増加比は大きい
- 下水処理水の全りん、エストロゲンは
河川水に比べると著しく高濃度

窒素、りんの規制強化

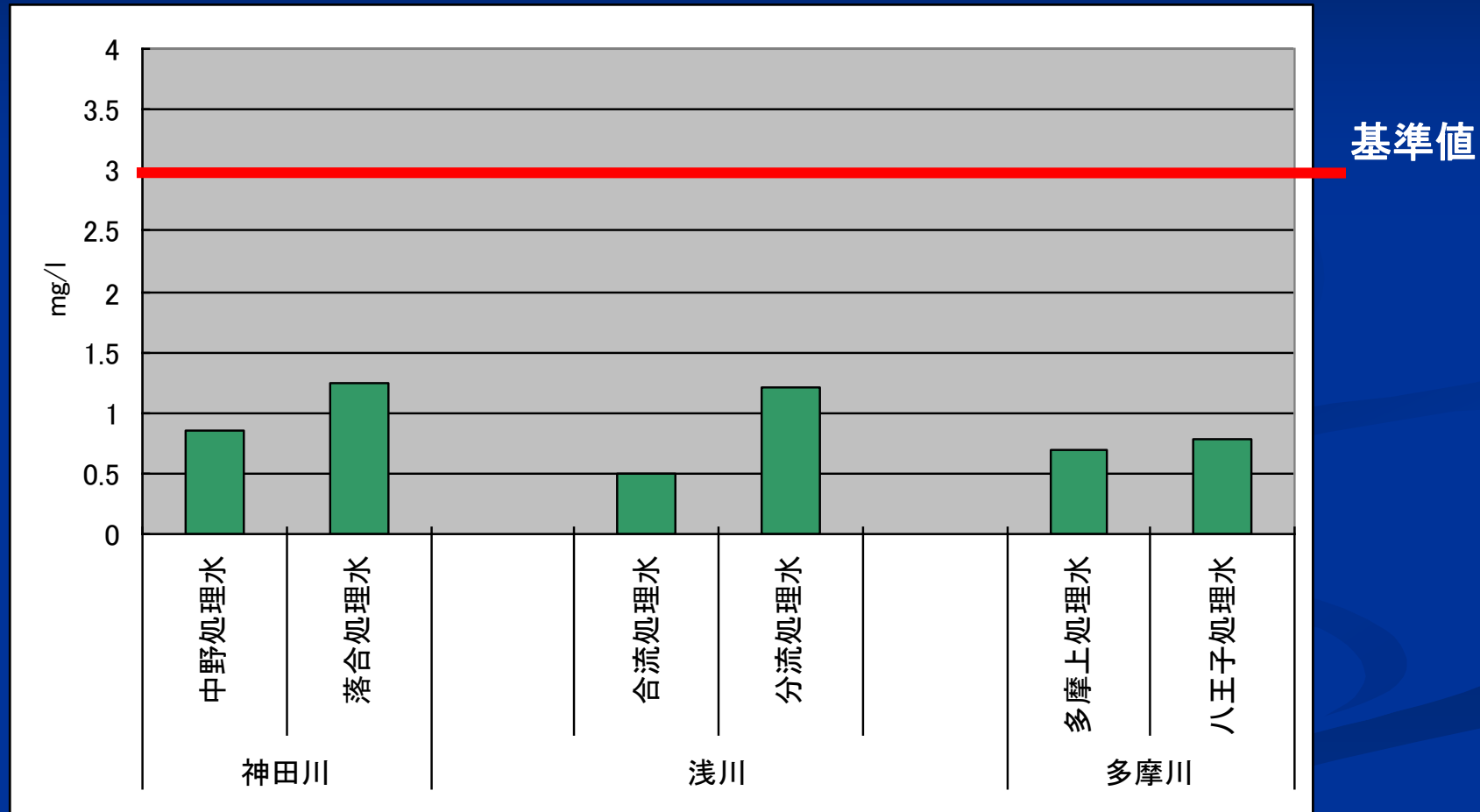
- 平成20年4月から
- 都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）
- 窒素、りんの放流水質の規制強化
- 全窒素 50 mg/l → 30 mg/l
- 全りん 4.5 mg/l → 3.0 mg/l

全窒素

排水基準と比較すると 基準値以下



全りん 排水基準と比較すると 基準値以下

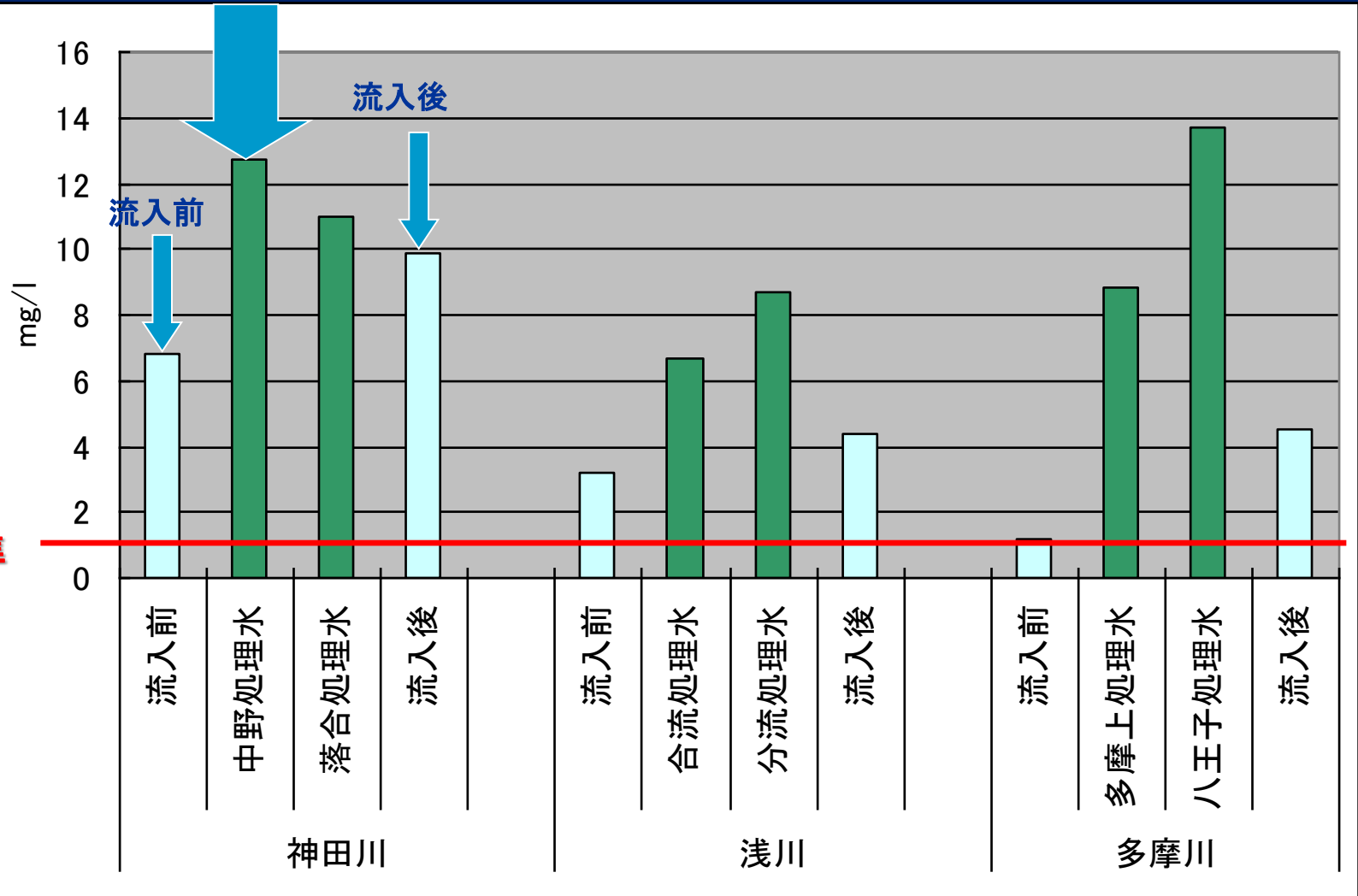


全窒素の環境基準

- 河川:「全窒素」の環境基準は設定されていない
- 湖沼: 0.1 mg/l (自然環境保全) ~
1 mg/l (水産3種、工業用水、農業用水)
- 海域: 0.2 mg/l (自然環境保全) ~
1 mg/l (水産3種、工業用水、環境保全)

河川水、処理水の全窒素

処理水

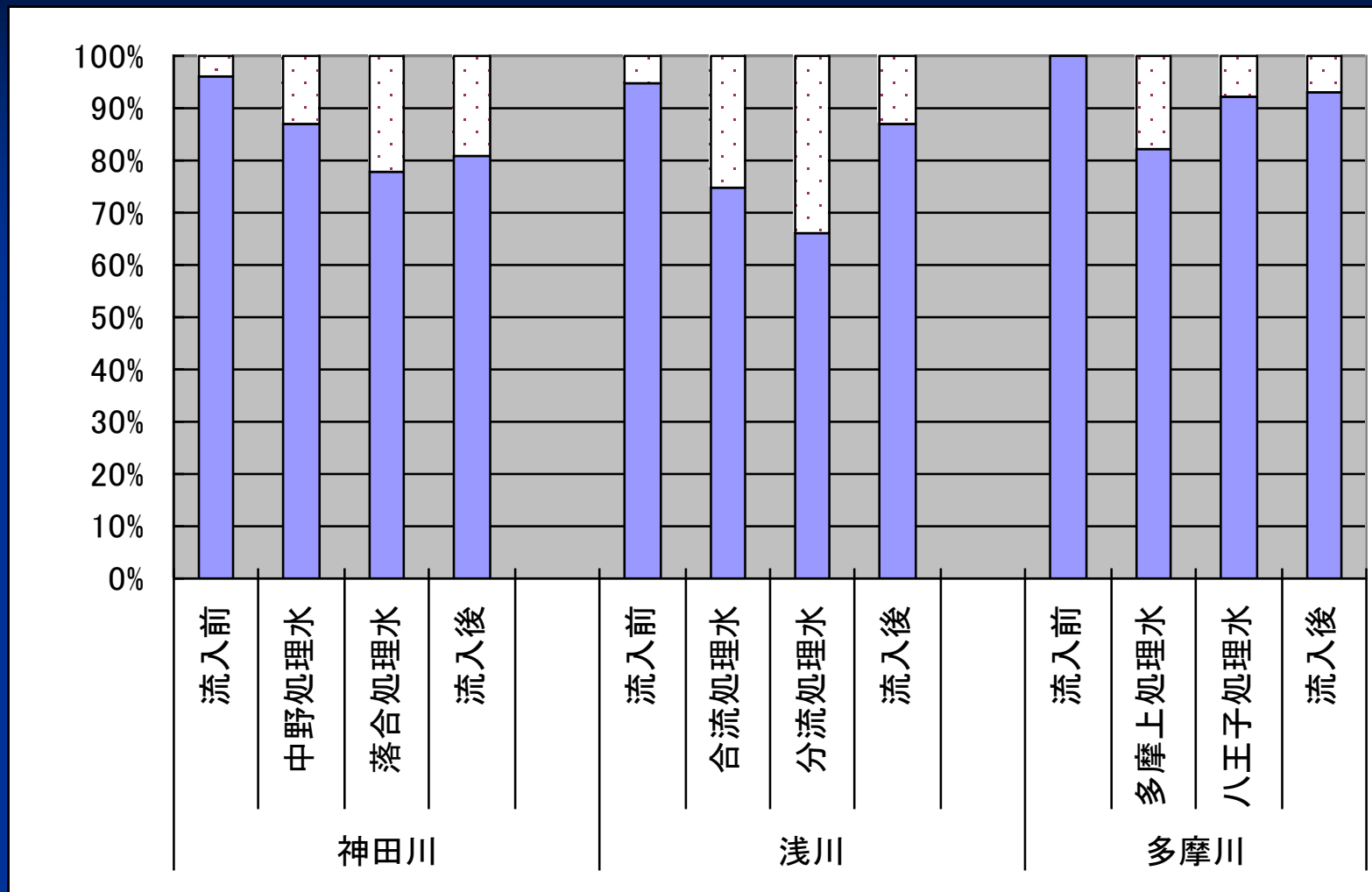


硝酸性窒素の問題

- 河川：全窒素の環境基準は設定されていない
- ただし、
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、環境基準が定められてる
(人の健康の保護に関する環境基準) **健康項目**

基準値 **10 mg/l**

全窒素のうち硝酸性窒素が占める割合

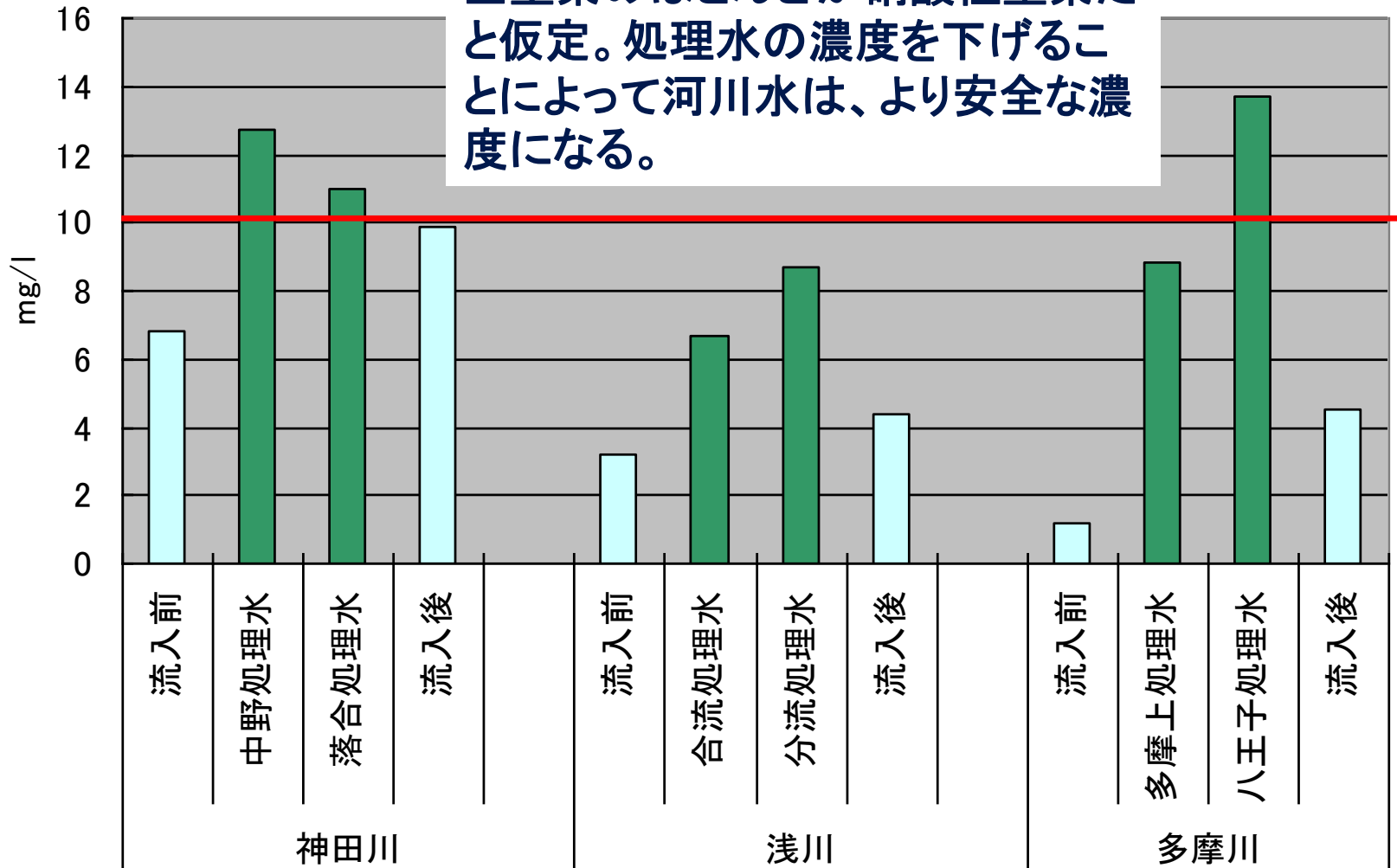


全窒素 = 硝酸性窒素 + 亜硝酸性窒素 + アンモニア性窒素 + 有機体窒素

T-N = NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N + Or-N

全窒素

全窒素のほとんどが硝酸性窒素だと仮定。処理水の濃度を下げることによって河川水は、より安全な濃度になる。



全りんの環境基準

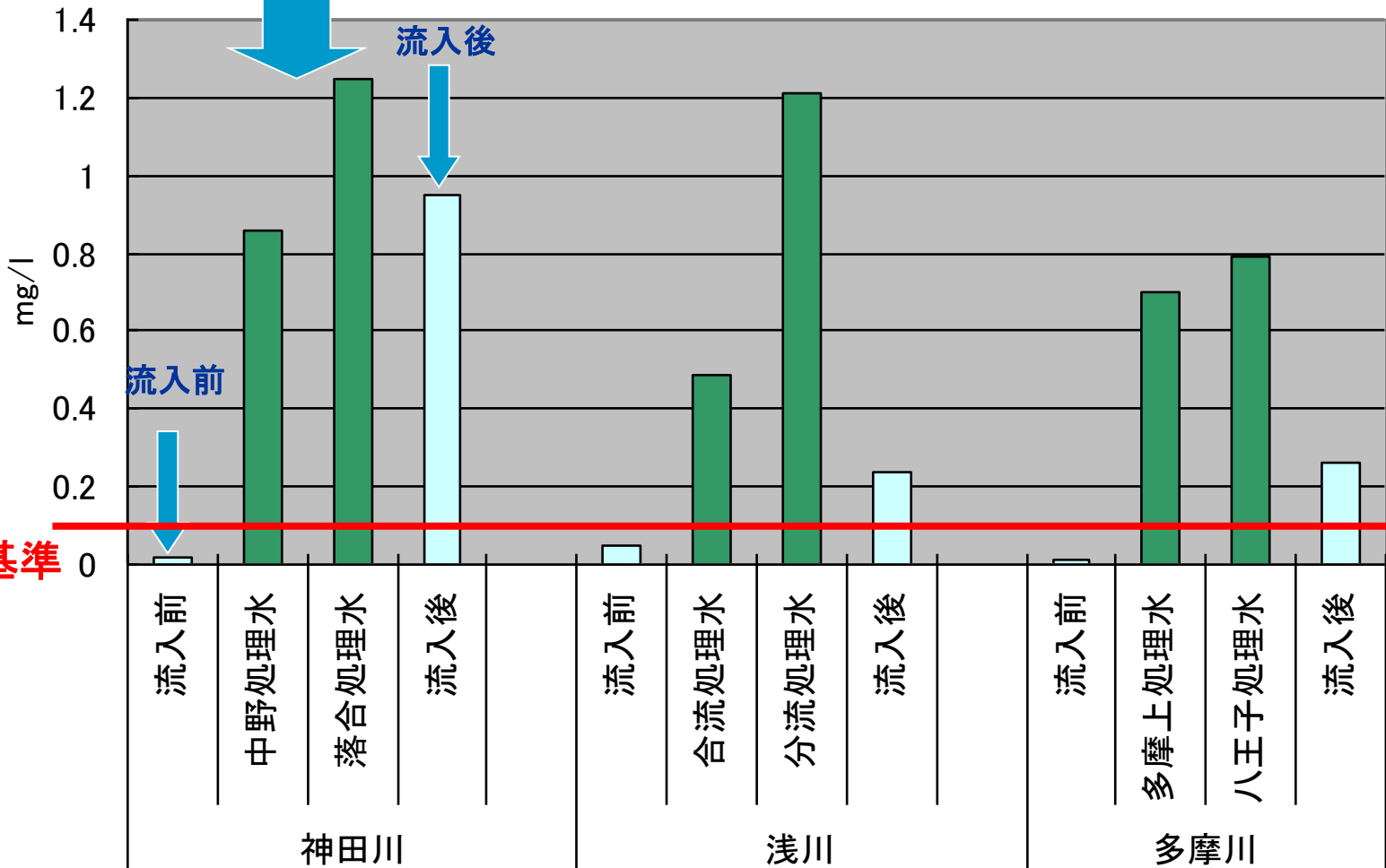
- 河川:「全りん」の環境基準は設定されていない
- 湖沼: 0.005 mg/l (自然環境保全) ~
 0.1 mg/l (水産3種、工業用水、農業用水)
- 海域: 0.02 mg/l (自然環境保全) ~
 0.09 mg/l (水産3種、工業用水、環境保全)

河川水、処理水の「全りん」

処理水

流入後

流入前



課題：下水処理水の窒素、りん

- 海域の窒素、りんの基準を達成するには、
処理水での削減がさらに必要 →
現在、高度処理率を高めている
- 河川水を水道原水（飲用水）に使用するなら
安全性の点から、**硝酸性窒素・亜硝酸性窒素**
を低減することが必要 → 脱窒素処理の
技術開発 → 実用化済 → 処理施設拡充中

底生動物

- 底生動物：魚類に比べて移動範囲が狭い
- 出現種類の水質汚濁階級が比較的よく整理されている

底生動物

- 水質階級：一般に4階級に分類される

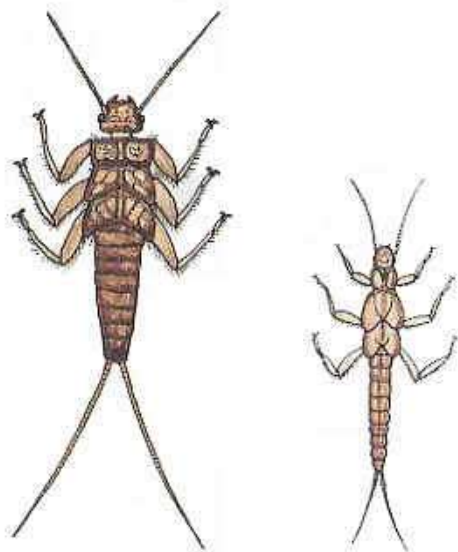
OS (貧弱水性、きれいな水),

β ms (β 中腐水性、少し汚れた水),

α ms (α 中腐水性、きたない水),

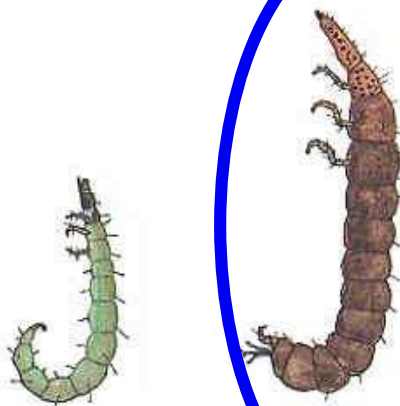
ps (強腐水性、大変汚い水)

きれいな水の指標生物



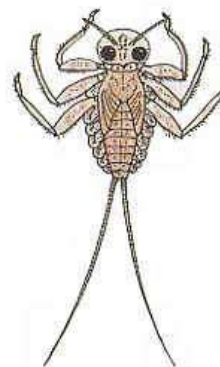
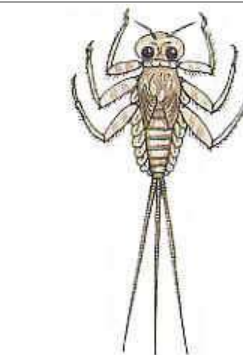
カワゲラの仲間

体長は、数 mm～30mm。体はややか平たく、流れがあるところの石の隙間や砂の中などにいる。



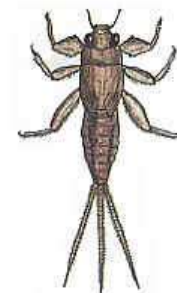
トビケラの仲間

体長 10～70mm。小石や砂、木の葉などで巣を作るものと、巣を作らないものがあるが、どれもイモムシのような体をしている。



ヒラタカゲロウの仲間

体長 5～10mm。頭、体、足が平たく、流れが急なところの石の表面にびったり張りついている。



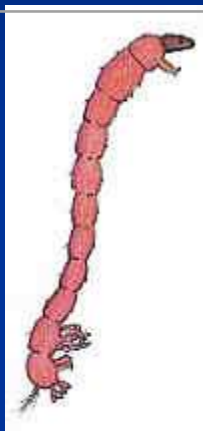
マダラカゲロウの仲間

体長 10～20mm。ずんぐりしたからだと丈夫な足を持ち、医師の隙間や落ち葉の中にいる。

出典:環境局HP
イラスト:トミタ・イチロー

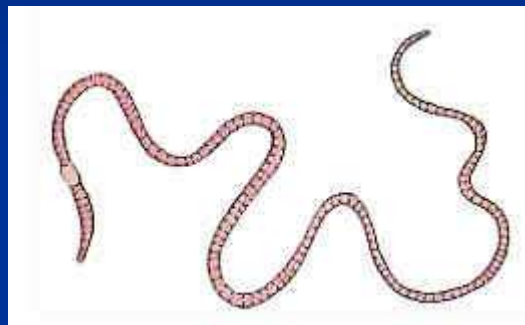


よごれた水の指標生物



赤色ユスリカ

体長約10mm。石の表面やドロの中に、口から出す糸で巣をつくっている。



イトミミズ類

体長約20mm。ドロの多いところに巣を作ってすむ。



サカマキガイ

体長約8mm。カラが左まきで、いろいろなところにすめる。

出典:環境局HP
イラスト:トミタ・イチロー

汚濁指数

生物を用いた水質汚濁の程度を示す指数

Pantle-Buckの算定式

$$\text{汚濁指数 (PI)} = \frac{\sum (s \cdot h)}{\sum h}$$

PI : Pollution Index

s: 出現種の水質汚濁階級

os	貧腐水性	= 1	きれい
βms	β中腐水性	= 2	
αms	α中腐水性	= 3	
ps	強腐水性	= 4	
			きたない

h: 出現多少度

10個体以下	= 1
11~100個体以下	= 2
101個体以上	= 3

底生動物による水質判定

神田川の底生動物	水質階級	種類数
下水処理水流入前の地点	α ms	7～11
流入後の地点(高戸橋)	α ms	5～14

浅川の底生動物	水質階級	種類数
下水処理水流入前の地点	os～ β ms	29～40
流入後約1km下流地点(JR中央線)	os～ β ms	25～31
流入後約6km下流地点(高幡橋)	os～ β ms	24～35

多摩川の底生動物	水質階級	種類数
下水処理水流入前の地点	os～ β ms	15～39
流入後の地点(多摩大橋左岸)	os～ α ms	8～24
流入後約1.5km下流地点(多摩川緑地)	os～ β ms	24～35
流入後約4km下流地点(日野橋)	os～ β ms	19～31

os(貧弱水性、きれいな水)

β ms (β 中腐水性、少し汚れた水)

α ms (α 中腐水性、きたない水)

ps(強腐水性、大変汚い水)

底生動物

- 処理水の流入前と流入後の地点：水質階級の明確な変化は認められなかった
- ただし、多摩川では処理水流入直後の多摩大橋左岸では4回調査のうち1回であるが α ms（ α 中腐水性、きたない水）と判定され、また、種類数は他の地点と比べ少なかった
- 底生動物の変化には、水質以外の環境要因も作用
- 例えば、河川構造、増水、上流・下流方向の移動
- 水質モニタリング同様、長期の観察が必要

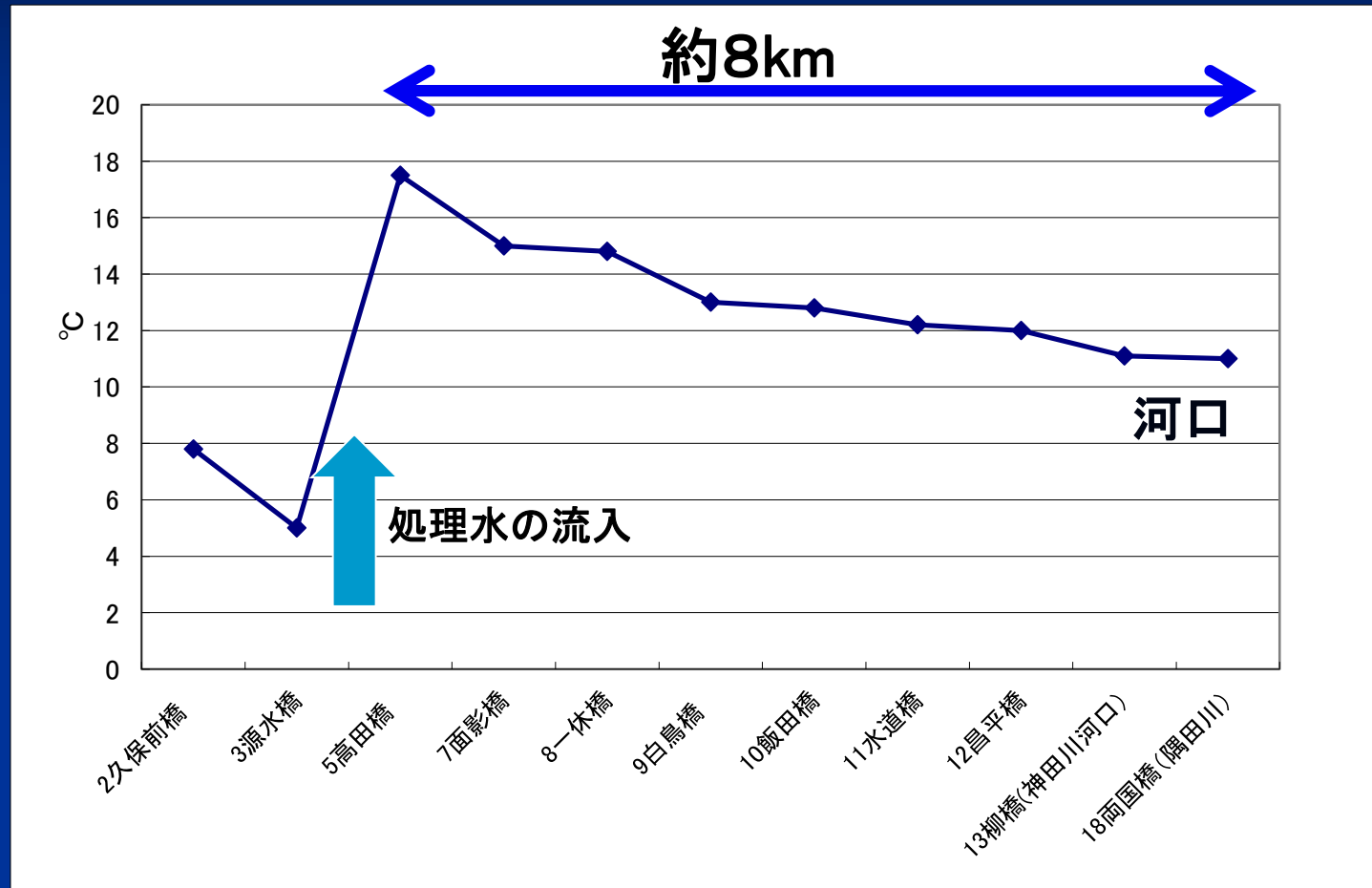
今後の課題

- 冬季の水温上昇が及ぼす生態影響
- 環境基準の適合率の低い水質項目
大腸菌群数
- 雨天時の水質汚濁問題

神田川 気温の低い時



神田川 2006年1月27日の水温変化



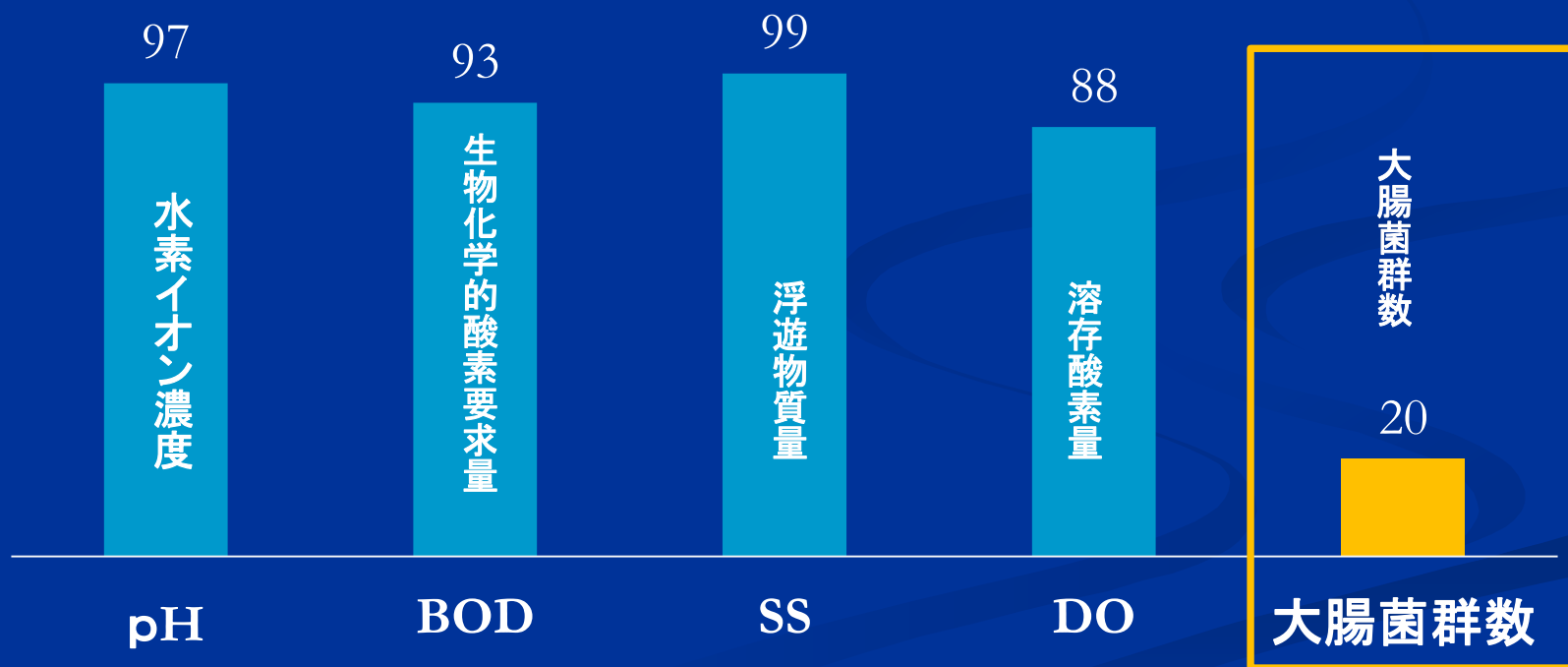
処理水の流入後、神田川の水温が上昇

水 温

- 処理水の水温は上昇傾向にあり、冬季でも20°C前後の高い水温
- 多摩川の2007年12月では処理水流入前の水温は 8.1 °C
- 流入後は17.5 °C (1.5km下流地点) ,
14.8 °C (4km 下流地点)
- 生態系への影響については今後、詳細に調べる必要がある

処理水は排水基準を満たしているが、
河川の**大腸菌群数**の適合割合は低い
原因は？

都内河川 平成18年度 適合割合(%)



大腸菌群数の問題 : 2008年度、環境局から受託研究をスタート

合流下水道 雨天時越流水の問題



合流下水道の改善は、都の重点施策
現在、改善対策が進められている

まとめ(1)

- これまでの有機的汚濁 → 下水道の普及によってほぼ解決（雨天時の問題を除く）
- 水質への影響 → 水質項目によって異なる
- T-P(全りん)、硝酸性窒素は処理水の影響が大きいが、高度処理の進展で解決の方向

まとめ (2)

- 底生動物への影響 → 調査した地点では大きな影響はないものと推察 → 経年変化の把握、長期的なモニタリングが必要
- 東京都環境基本計画
「都民が安心して水に親しめ、多様な生物が生息する水環境」の実現
- 下水処理水に残存する物質の問題
→ 排水規制、下水高度処理をさらに進めていくことが必要 → より質の高い水環境へ