



# 本日の話題

- 健康関連微生物の研究分野の概観
- 雨天時合流式下水道越流水の問題
- 新しい凝集処理の評価

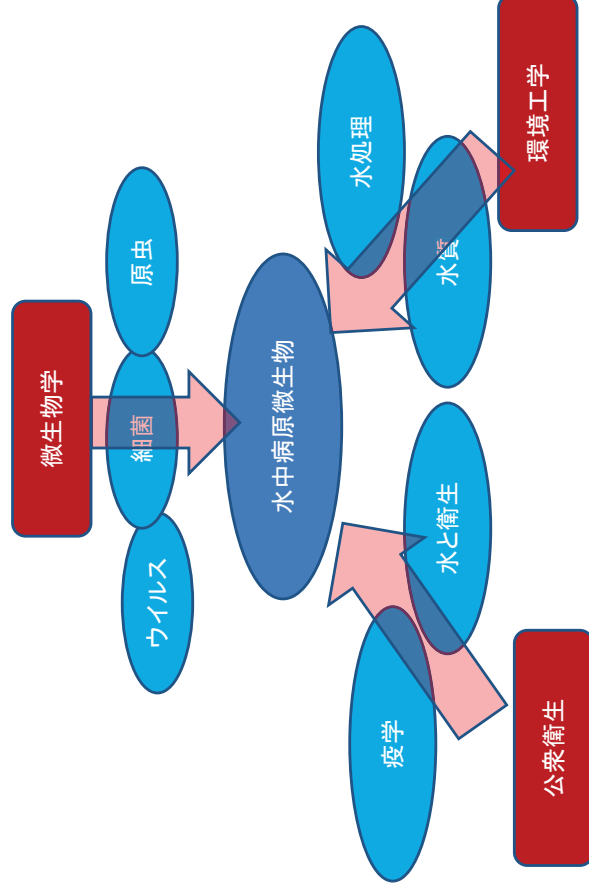
## 東京湾と水問題

# 下水処理と病原微生物

東京大学 大学院工学系研究科都市工学専攻  
片山浩之

原本英司、大熊弘毅、  
漢那雷惟音、古米弘明

1



3

2

# 上下水道の役割

- 近代水道の成立
  - ろ過と塩素
  - 圧力送水
- 下水道
  - 感染症対策と環境浄化
  - ただし、雨対策は不十分

# 現在の課題

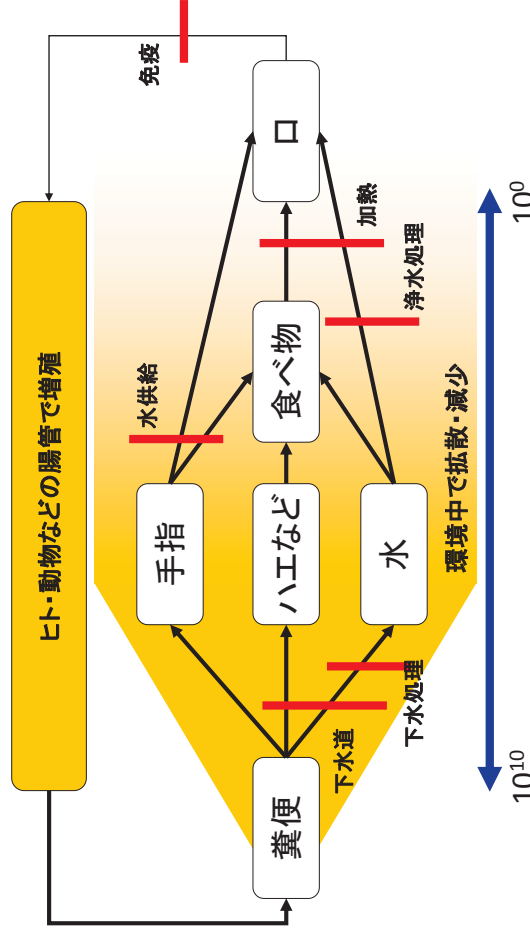
- 新興再興感染症対策：ノロウイルスなど
- 発展途上国における水と衛生
- 上下水道の災害対応

4

# 現在進行中のテーマ

- ウイルスの測定法の開発
  - 浄水におけるウイルスの除去率
  - 実浄水場、添加しない → 大容量、測定阻害
- ウイルスの環境中の挙動
  - 指標の評価、管理に向けて
    - 大腸菌の有効性と限界
  - 新規ウイルス指標の開発
    - PMMoV、Aichi virusなど
- ウイルスの消毒効果の測定
  - 培養しないで不活化を評価する

5



糞便一経口感染する病原微生物の生活環

7

## 背景

東京湾の微生物のリスク

お台場海浜公園はトライアスロンの会場  
 ⇨ 東京湾沿岸域は雨天時合流式下水道越流水などの影響で現在は水浴不可。

|             |         |                  |
|-------------|---------|------------------|
| 通常の水浴基準     | 糞便性大腸菌群 | 1000 CFU/100mL以下 |
| トリアスロンの水浴基準 | 大腸菌     | 250 CFU/100mL以下  |



東京湾沿岸域における越流水による微生物汚染の影響は？

6

## 東京湾における微生物流入可能性

- CSOによるもの
  - 未処理下水中の病原ウイルス等病原微生物
- CSO以外の要因によるもの
  - 動物糞尿由来の微生物が降雨により洗い流され流入(人畜共通感染)
  - 下水処理工程で除去し切れなかったもの
  - 水浴場(お台場)、運河でのお漏らし等
  - (屋形船でのし尿処理)

8

## 調査の必要性

- 受水域において、CSOによる汚染がどれほどの規模で、どれだけの期間継続するかについての知見は未だ少ない。
- 特にウイルスについては濃縮操作や検出操作の煩雑さから、知見が皆無に近い。
- 培養方法の確立されていないノロウイルスもPCR法により検出・定量が可能になった。

9

## これまでに行った調査

- 2003年7月から1年間 下水処理場調査
  - 毎月試料採取
- 2004年 お台場調査
  - 時間変動を取るため、ほぼ毎日のサンプリング
- 2013年 お台場調査
  - 降雨の影響を調べるため、1日2回を含む高頻度調査

11

## 微生物による挙動の違い

- 病原微生物に関して、越流水の受水域での時間変動を定量的に観測した情報が不足している。
- 大腸菌群と腸管系ウイルスは異なる挙動をもつ。



越流水の受水域において、微生物の違いによつてどのような挙動の違いがあるか？

10

## Virus survey in WWTPs in Japan



**One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan**

Hiroyuki Katayama<sup>a,\*</sup>, Eiji Haramoto<sup>a</sup>, Kumiko Oguma<sup>a</sup>, Hiromasa Yamashita<sup>b</sup>, Atsushi Tajima<sup>b</sup>, Hideichiro Nakajima<sup>b</sup>, Shimichiro Ohgaki<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Urban Engineering, School of Engineering, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

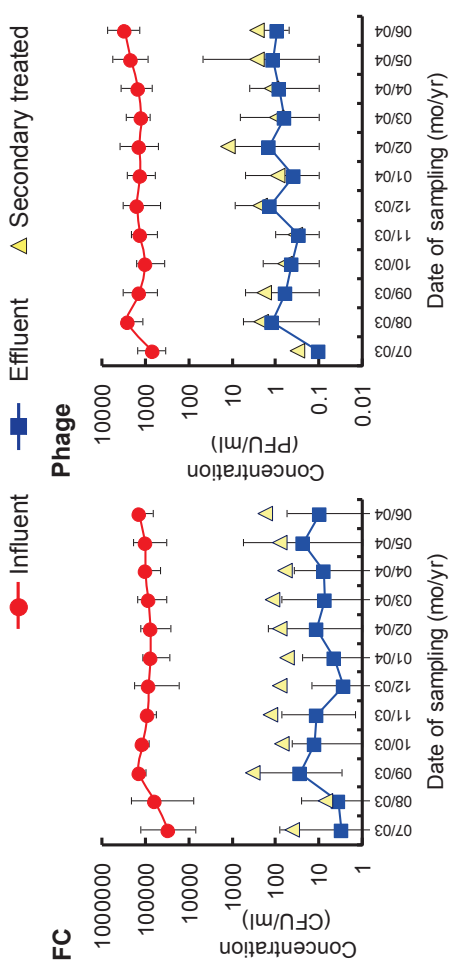
<sup>b</sup>Water Quality Control Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0804, Japan

12

# 日本の6下水処理場における調査

- 東京、埼玉、茨城、大阪、京都、滋賀にある下水処理場
- 2003年7月から2004年6月まで、毎月試料採取
- 流入水、二次処理水(塩素消毒前)、放流水(塩素消毒後)

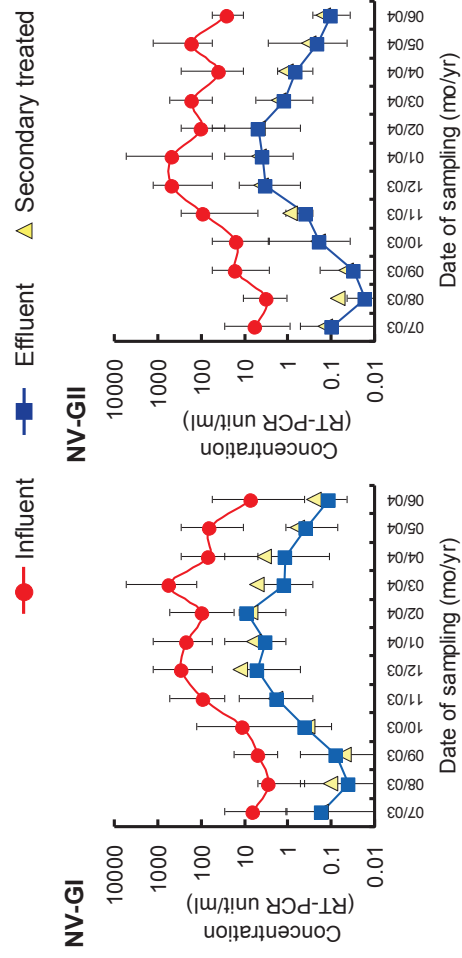
## Level of Fecal Indicators



- Stable through year
- Removal: Fecal coliforms 3.04 Log, Phages 3.01 Log
- Phage is resistant to chlorination

14

## Level of Noroviruses



- 100 times higher in winter than those in summer
- Removal : NV-GI 1.56 Log, NV GII 1.94 Log

15

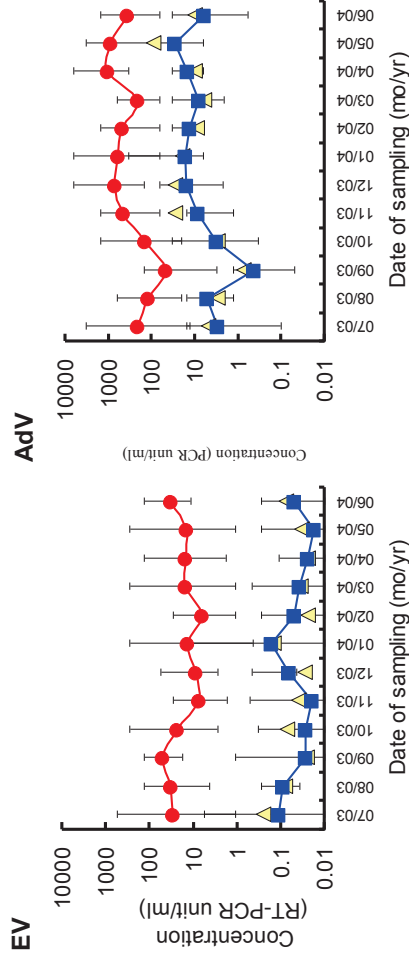
## Seasonality of Norovirus

| Geometric mean |        | Summer<br>(Jun to Sep) | Winter<br>(Nov to Mar) |
|----------------|--------|------------------------|------------------------|
| Influent       | NV-GI  | 4.9                    | 190                    |
|                | NV-GII | 13                     | 360                    |
| Effluent       | NV-GI  | 0.18                   | 5.7                    |
|                | NV-GII | 0.069                  | 3.6                    |

Treated water in winter contains norovirus at the same level of influent in summer

16

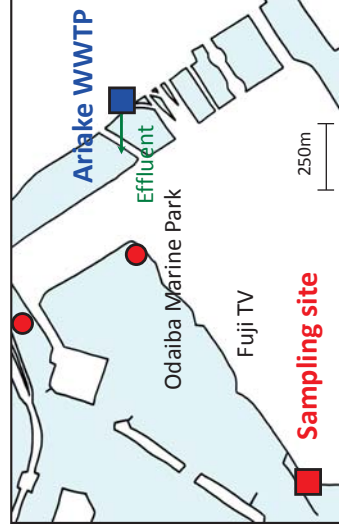
# Enterovirus and Adenovirus



- Stable through year
- Higher level of Adenovirus
- Removal: Enterovirus 2.53 Log, Adenovirus 1.55 Log

## お台場におけるウイルス調査

- 調査期間...2004年8月4日～10月15日 (21世紀COEプロジェクト)
- 採水試料数...47試料 (午前中に採取)
- 採水は, 新領域沿岸域環境研究室の鯉淵先生および学生の協力
- 測定項目...ノロウイルス, アデノウイルス, 大腸菌群, *E. coli*
- ウイルス用濃縮水量: 1,000ml



CSOのシミュレーション結果 (10/3~10/5) →  
(沿岸域環境研究室のウェブサイトより)

## まとめ

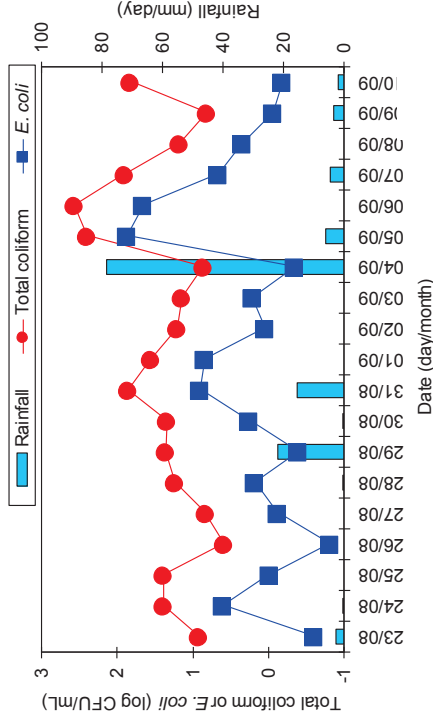
- アデノウイルスは高濃度 (年平均値: 6,600 PDU/ml) で安定して流入している。ウイルス指標として最も優れている可能性あり
- 流入水中のノロウイルスは、冬は夏の濃度の100倍以上高い。冬はアデノウイルスと同程度の濃度。
- 二次処理における除去率、大腸菌と大差はない (99% - 99.9% 除去)
  - ただし、ウイルスの種類により異なる
- 塩素消毒については不明だが、ファージは大腸菌よりも耐性がある

## 採水日および降雨量

- 調査期間中, 合計 744mm の降雨が観測された
- 8/23~9/10の19日間, 9/27~10/15の19日間は毎日採水を行った

# 大腸菌群およびE. coliの濃度変動

- 降雨によって濃度が上昇し、数日間かけて濃度が低下していくことが分かった
- 9月4日～9月5日の降雨(84.5mm)による濃度上昇
  - 大腸菌群...1.55 log
  - E. coli...2.22 log



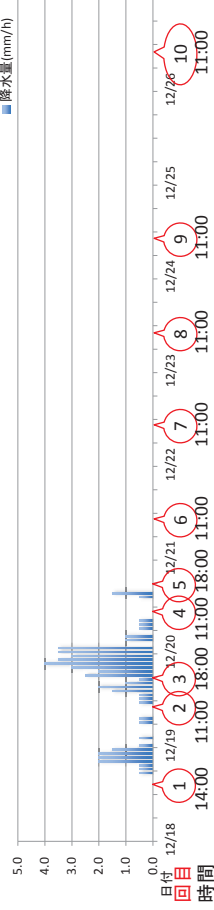
21

## 2013年調査 降雨後の高頻度調査 降雨直前の試料を採取している。



観測場所3地点 (Site A, B, C)  
観測地点による測定結果の違いはあまり見られなかったため、結果ではお台場海浜公園の中心に位置するSite Bの測定結果のみ論じた。

各地点でサンプリングを行った日時(2013年)

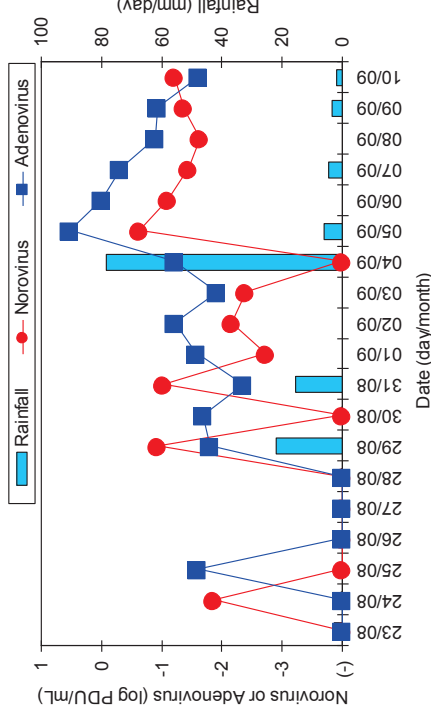


サンプリングを行った日時とその間の降水量を吹き出しと棒グラフを用いて表した。吹き出しの中は何回目のサンプリングかを表している。

23

# ノロウイルスおよびアデノウイルスの濃度変動

- ウイルスにも細菌同様の降雨に対応した濃度変動が見られた



降雨後数日間は遊泳行為などによるウイルスの感染リスクが高い

E. Haramoto\*, H. Katayama\*, K. Oguma\*, Y. Koibuchi\*\*, H. Furumai\* and S. Ohgaki\* (2006) Effects of rainfall on the occurrence of human adenoviruses, total coliforms, and Escherichia coli in seawater, Water Science & Technology Vol 54 No 3 pp 225-230.

22

## まとめ

- ① 大腸菌コロニー、大腸菌群、糞便性大腸菌群は降雨後に大きく濃度が増加した後、数日でもとの濃度まで減少した。
- ② ウイルスは降雨後に全体的に濃度が上昇したが、大腸菌群ほど大きな濃度変化はなく、濃度にもばらつきがあった。
- ③ Fファージは降雨後に大きな濃度上昇があるものの、ウイルスと近い挙動も示した。

24

## 調査結果まとめ

- 東京湾における調査結果  
⇒水中の病原微生物濃度は降雨の影響を強く受け、1000倍程度の濃度変動が起こりうる
- 海外における事例調査  
⇒降雨による病原微生物の濃度上昇が感染リスクを高めている( Rose et al., 2000 )

25

## 東京オリンピック2020

- トライアスロンの会場  
候補地 お台場
- 開催都市決定前の  
Times(英国)の記事
- トライアスロンの水質  
基準:  
大腸菌250cfu/100ml

## 総合的な微生物リスク管理に向けて

- 日本の海水浴に関する微生物基準の測定頻度は年に一回
- リスク管理の観点から、測定頻度に関する考え方の整理が必要
- 大腸菌濃度に基づく微生物リスク管理の限界
  - 塩素消毒の有効性を見直す必要性
- 測定点としての下水処理場
  - 流入下水から地域の公衆衛生状況を把握できる
  - インフルエンザ、クリプトスポリジウムなど

26

## お台場の海 水質改善へ 五輪トライアスロン会場 「大腸菌が多いことある」

東京都の猪瀬直樹知事は27日の定例記者会見で、2020年東京五輪のトライアスロン会場となるお台場海浜公園周辺の海水について「大雨の時に大腸菌が多いことがある」と述べ、五輪開催までに下水道施設を改善して対処する考えを表明した。

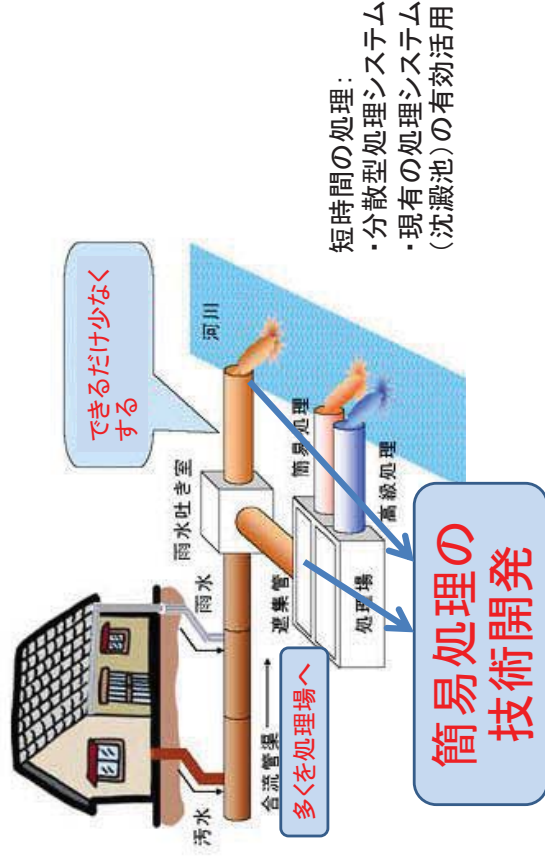
都によると、雨水と下水を一緒に処理しているが、豪雨の際などは処理の過程で使う貯留施設があふれる前に水を放流するため、一時的に水質が悪化することがある。

下水道局は20年までに貯留施設を現在の28カ所から46カ所に増やすなどし、放流回数を半分以下にする。(以下略)

27

スポニチ記事「2015.11.27」

# 6年で実施可能な対策技術 1



29

## 簡易処理システムの要件

- 短時間(HRT 30分?)⇒物理化学処理
  - たとえば
    - 凝集・沈澱 (ポリ鉄凝集)
    - 砂ろ過
    - 吸着
    - 膜ろ過
  - 汚泥処理も必要
- ターゲットとなる汚染:
  - 濁度、色度、
  - 病原微生物、
  - 細菌、ウイルス、原虫
 (ただし、大腸菌を塩素で減らすのは不可)

31

# 6年で実施可能な対策技術 2

## 潮汐に対応した導水

- 東京湾の水をお台場の内海に入れたい
- 海水の浄化、バラスト水処理の技術?
- 有明水再生センターから下水処理再生水



30

## ポリ鉄

- 製鉄排水、酸性、おもにFeSO<sub>4</sub>
- 下水処理場で使用実績あり、おもに消臭目的
  - PRTR(化学物質排出移動量届出制度)対象外
- 海の鉄分不足に貢献?
- リンを削減?

32



## ポリ鉄凝集の効果



凝集前

33

## 塩素消毒は？

- 大腸菌を不活化する最も安価な方法
- 消毒副生成物(トリハロメタンなど)の懸念
- 生態毒性のため、海外では下水処理に使用されないか、消毒後に中和処理
- ウイルス・原虫類に効果がない
- 大腸菌を水環境で測定するため、下水処理での使用を避けるべき

35



Rapid 60 凝集後



Slow 60 凝集後

34

## 汚泥処理のコスト

- 処理費用の半分弱
- 汚泥の発生しない処理が経済的
- 下水道局内の経済論理では、汚泥発生量は少ない方がよい
  - ⇨ 処理水の水質？

36

## 必要な動き

- 全国一律⇒地域のまちづくり
- 水辺の価値の再認識
- 周辺のStake Holderを巻き込む
  - －お台場に本社がある企業、ホテル、ショッピングモール
- 学術的に必要な知見
  - －実施可能性(技術的・経済的)、
  - －水質改善効果の予測、
  - －水辺の価値の評価