

第60回下水道研究発表会@札幌(2023年8月2日)

N-3-1-2

お台場海水浴予報のための新たな降雨分類に 基づく大腸菌濃度変化データベース

中央大学 研究開発機構

Chomphunut POOPIPATTANA

朴 奎炫

○古米 弘明

研究背景と目的

- お台場海浜公園では、雨天時越流水の影響を受けて糞便汚染指標である大腸菌濃度が上昇するが、降雨の時空間特性だけでなく潮汐条件にも影響を複雑に受ける。



- 区部排水区ごとの越流量を考慮して降雨を類型化する。
- 類型化降雨ごとに、様々な潮汐条件での大腸菌濃度を3次元流動水質モデルで計算する。



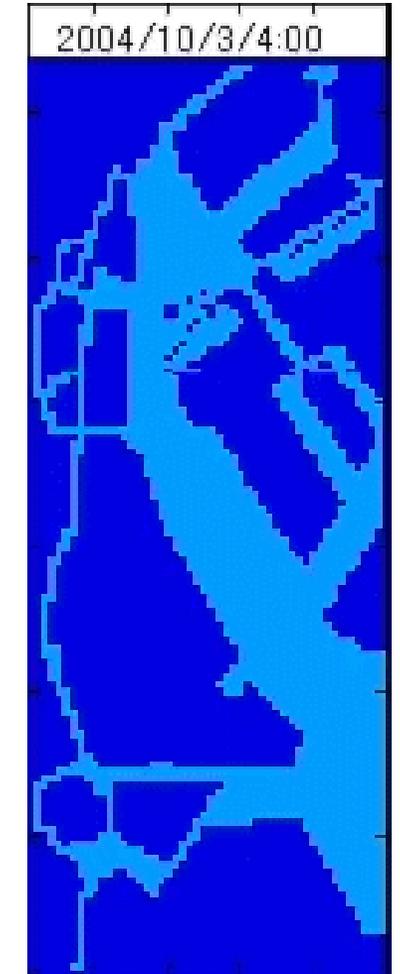
- 発生した降雨タイプごとに、水浴の可否判断や水浴可能となるまでの日数予想に利用できる大腸菌濃度変化データベースを構築する。

**「泳げる海、お台場」の実現が期待されている。
降雨後の水浴可否判断のため糞便汚染を予測！**

お台場海浜公園は貴重な親水空間

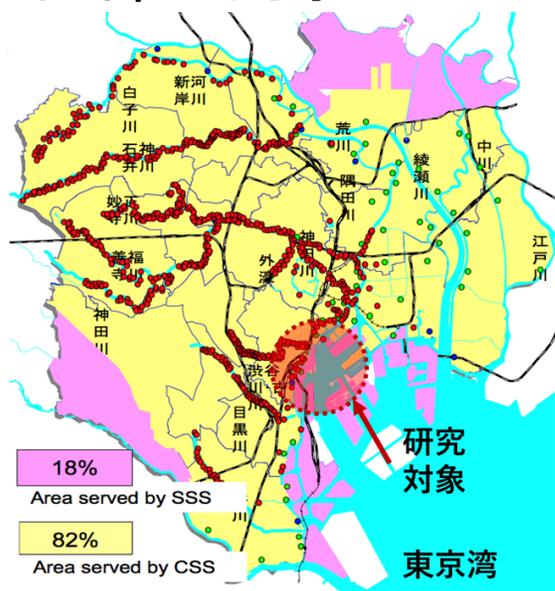


大腸菌濃度のモデル計算結果例



研究対象領域とCSO排出源

区部の雨水吐口



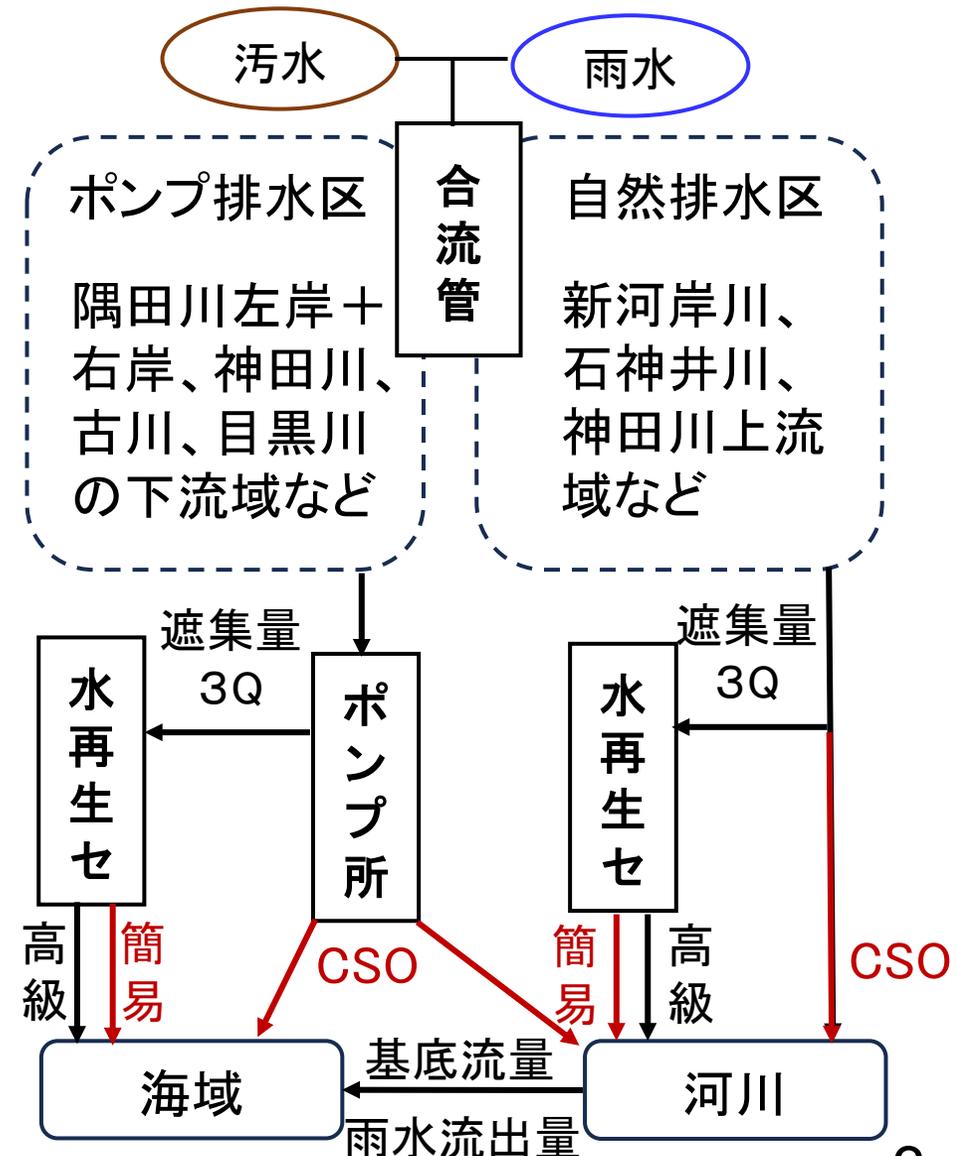
区部の6河川流域と隅田川の2ポンプ排水区



様々なCSO排出源

- ⓐ 29 雨水ポンプ所
- 6 水再生センター
- ▶ 6 流入河川
- 約800 雨水吐

雨天時越流量(CSO)の計算方法

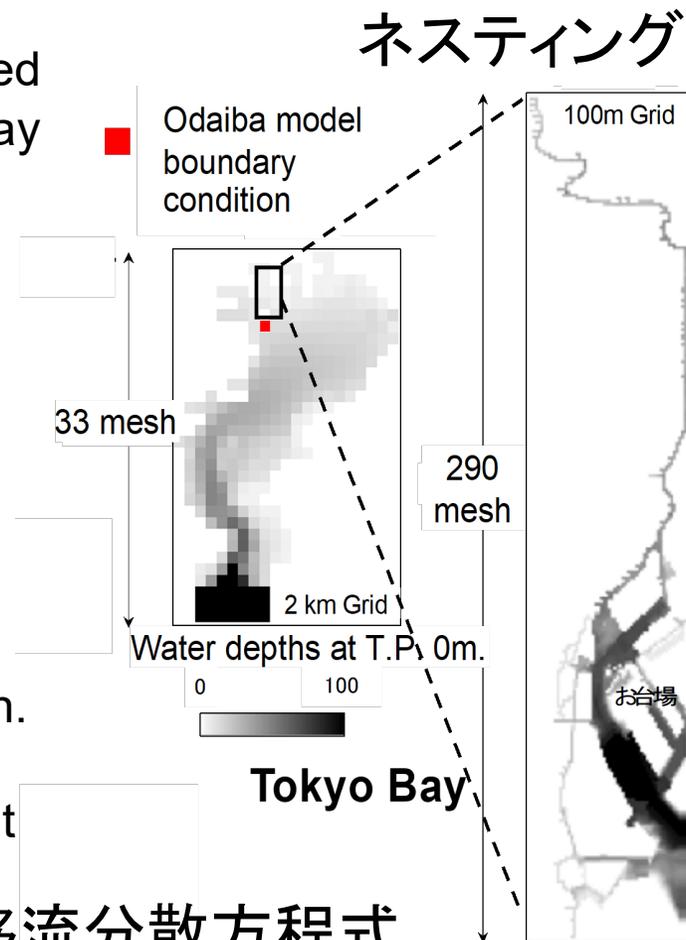


3次元流動水質モデル(東京湾モデルとお台場モデル)

- **Hydrodynamic model:** 2 nested computational domain: Tokyo bay and Odaiba area

- The Odaiba model includes CSO sources of: 29 pumping station, 6 sewage treatment plants (STPs), 6 urban rivers

- **Water quality model:**
***E. coli* fate model** (calibrated) solves advective diffusion equation. The inactivation rate considers settling and inactivation by sunlight and salinity.



大腸菌不活化の動力学式

$$k = k_b + k_s C_s + k_I I \exp(-ah)$$

基礎 塩分 太陽光

- k_b : Basic inactivation coeff. = **0.045 (/day)**
- k_s : Inactivation coeff. by salinity = **0.100 (/day · ppt)**
- C_s : Salinity (ppt)
- k_I : Inactivation coeff. by sunlight = **0.038 (m²/day · W)**
- I : Solar irradiance (W/m²)
- a : Extinction coeff. = **0.1 (/m)**
- h : Water depth (m)

大腸菌に関する移流分散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z} + SC) - kC$$

越流量の空間分布を反映した降雨の類型化方法

- **解析対象降雨イベントデータ**

区部13地点の13年間(2008~2020年)の6月から11月の降雨イベントデータ(N=1051)を利用

- **雨天時越流量の空間分布の反映**

ティーセン分割により13地点の降雨データを6河川排水区と2ポンプ排水区の計8つの排水区に振り分け。越流量に最も影響を与える積算降雨量だけを用いた類型化。

- **階層的クラスタ分析**

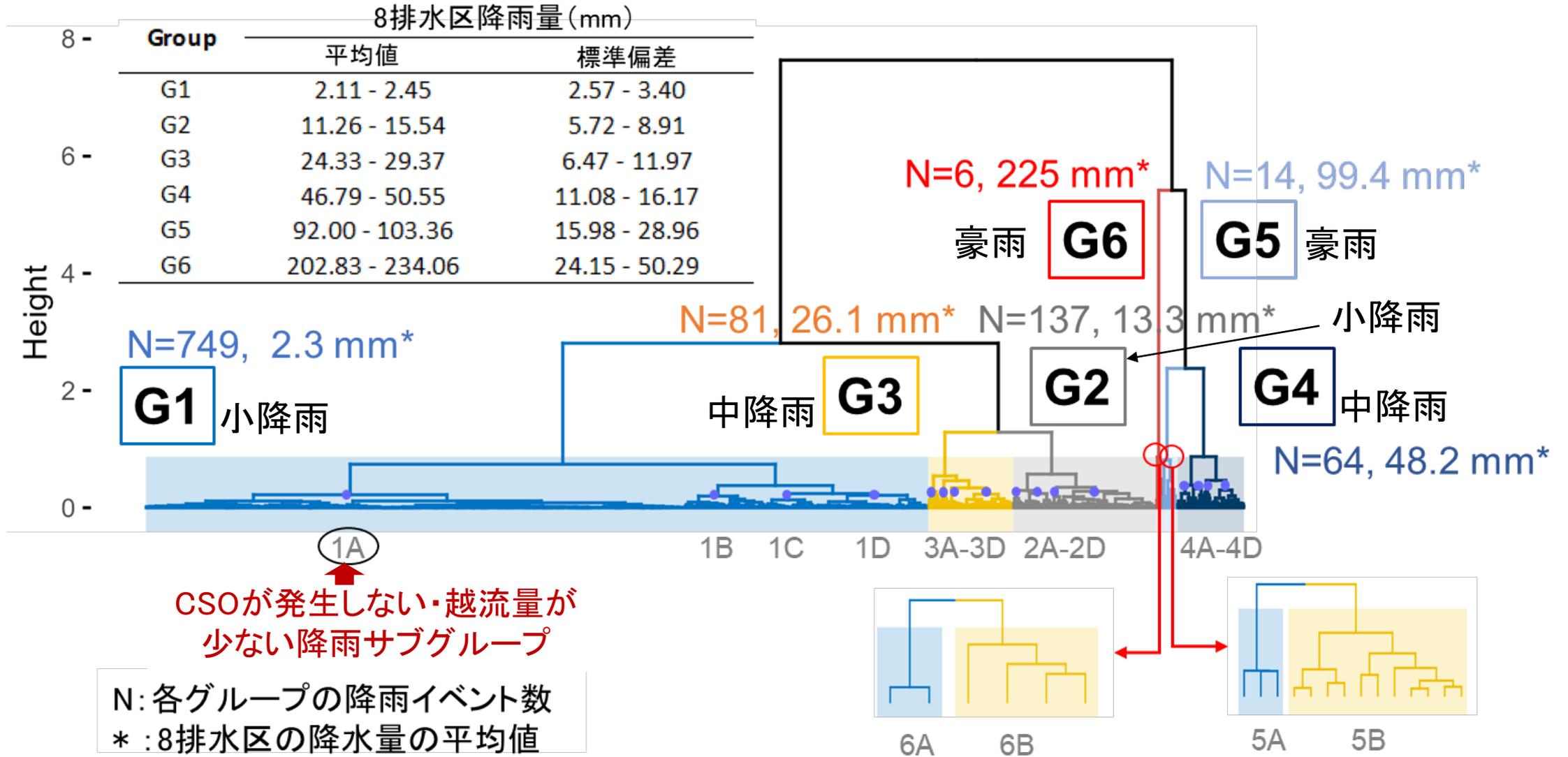
8排水区の積算降雨量を対象として、その最大値と最小値で無次元化を行い、個体間距離をユークリッド距離として求め、Ward法を採用。



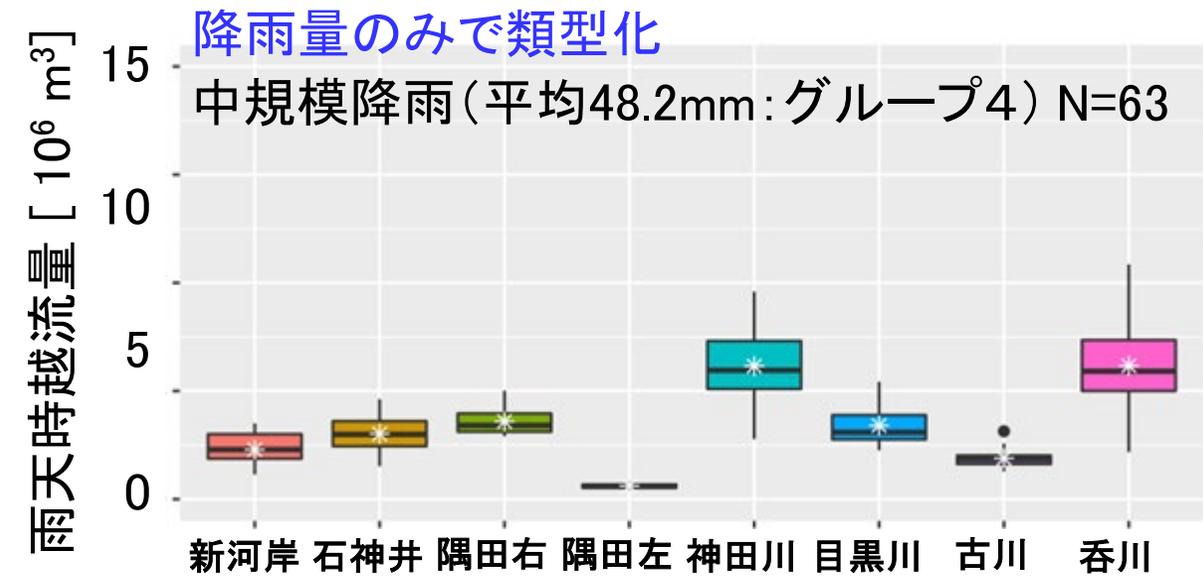
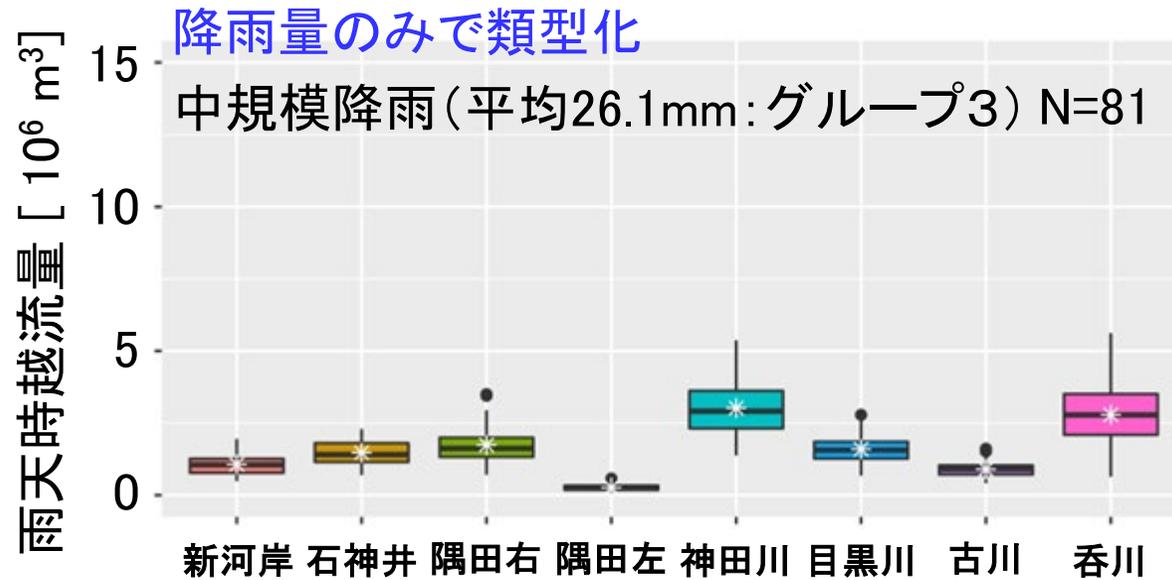
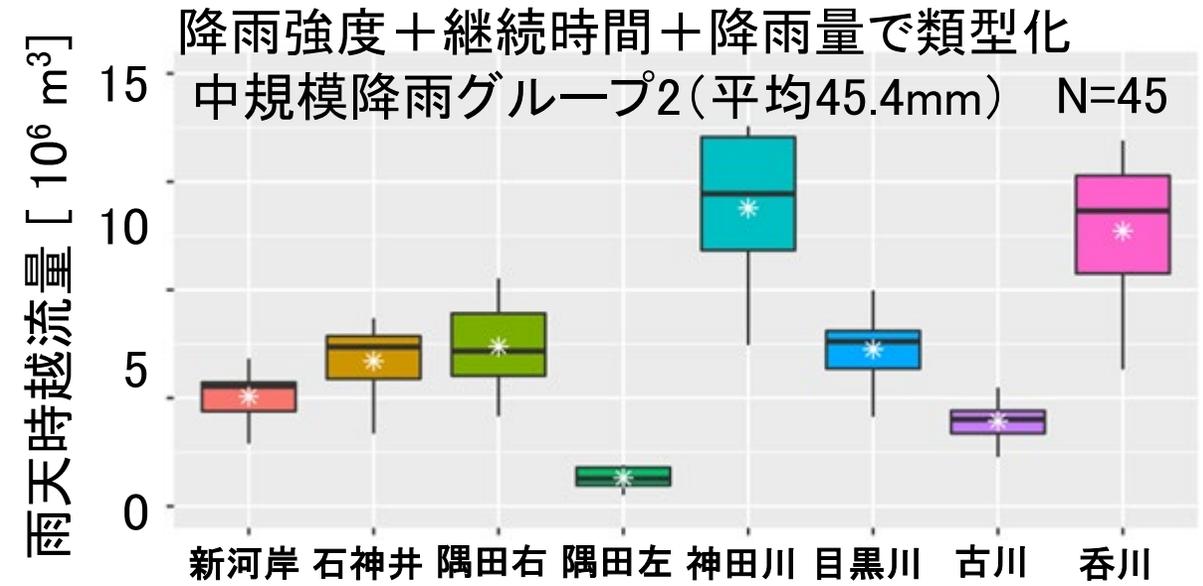
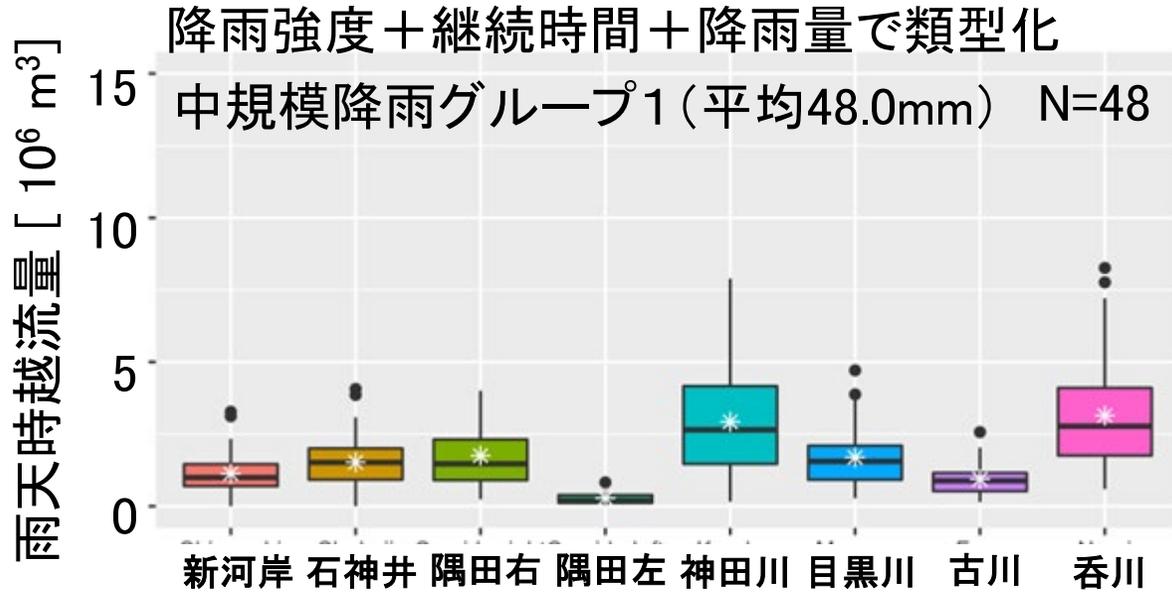
図 東京都水防災総合情報システムの13地点の降雨観測点

8排水区の積算降雨量による降雨の類型化

13年間(2008~2020年)の6月から11月の降雨(N=1051)



中規模降雨グループの8排水区の雨天時越流量のばらつき



流動水質モデルの計算における潮汐及び日照条件

降雨発生時の潮汐条件の設定

お台場海浜公園における大腸菌濃度変化のモデル計算は、降雨の発生が大潮と小潮においてそれぞれ満潮と干潮とその中間（下げ潮、上げ潮）に起こることを想定して、類型化降雨ごとに8ケースで行う。

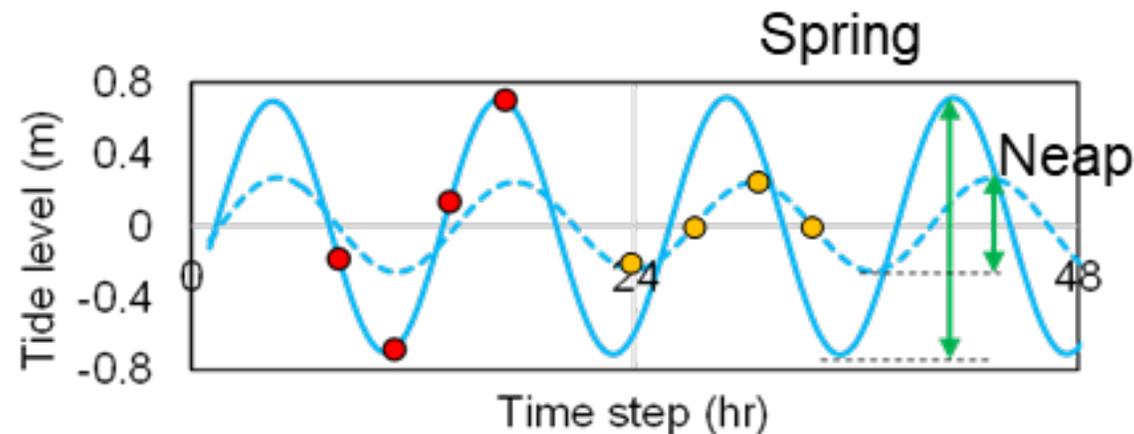


図 大潮と小潮における降雨発生タイミングの設定

日照条件の設定

夏季3か月間において、不活化が起きにくい曇天の平均的な日射量変化を与える。日照条件は、大腸菌の不活化に大きく影響することから、これにより、水浴可否判断の安全側の濃度変化を求める。

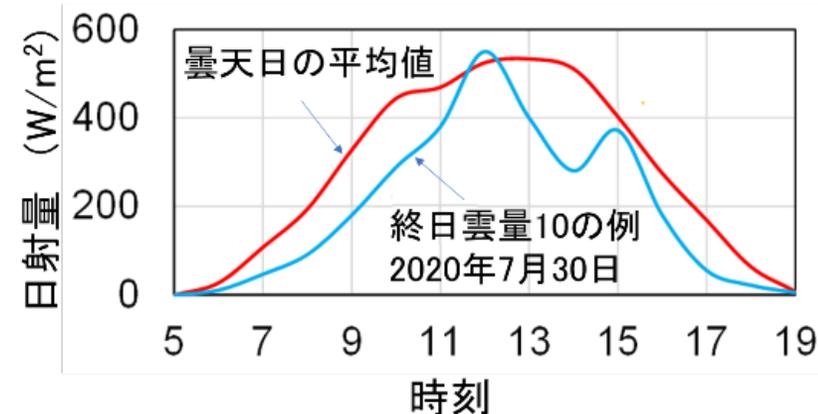
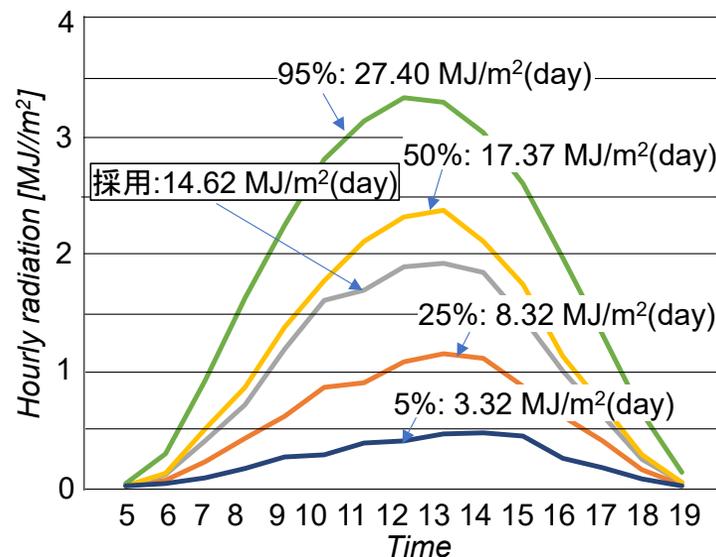


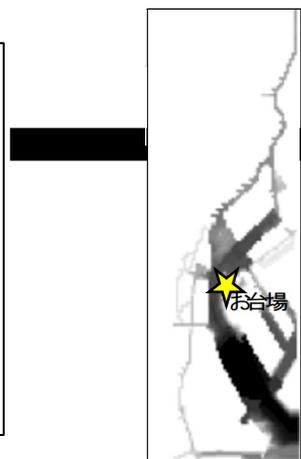
図 夏季の日射量ランキングと曇天日の平均的な日射量変化

様々な潮汐条件で大腸菌濃度を3次元流動水質モデルで計算

モデルにおける入力条件

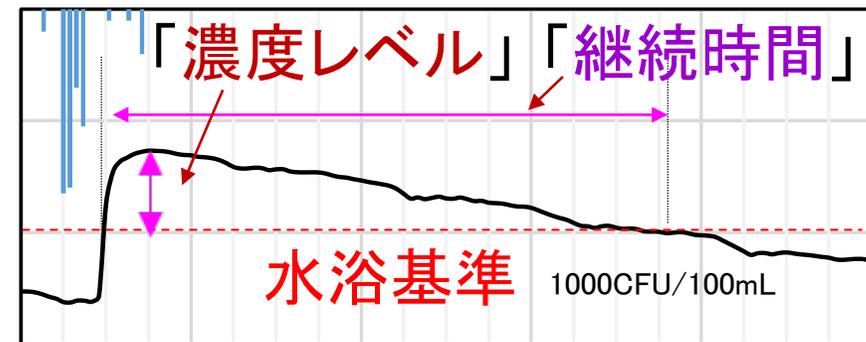
- ✓ 類型化された降雨における区部13地点の降雨データ
- ✓ 降雨に伴う越流量データ
- ✓ 日照や風などの気象条件
- ✓ 潮汐条件

3D流動水質モデル

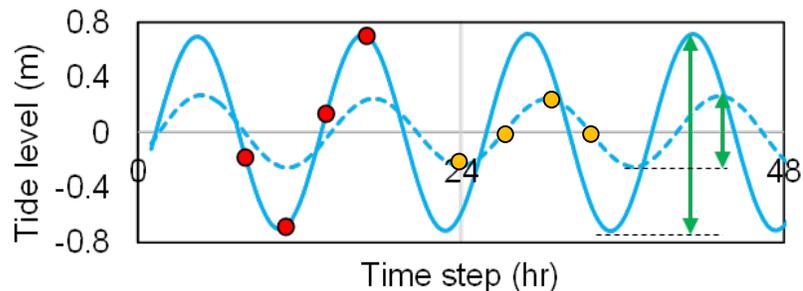


E. coli (logCFU/100mL)

お台場での大腸菌濃度変化

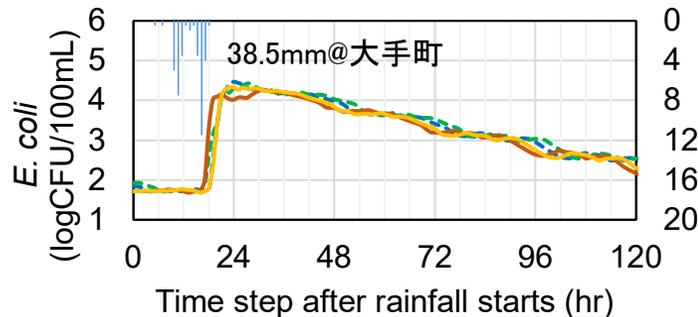


大潮・小潮と潮時(干潮・上げ潮・満潮・下げ潮)との組合せ
8つの潮汐条件

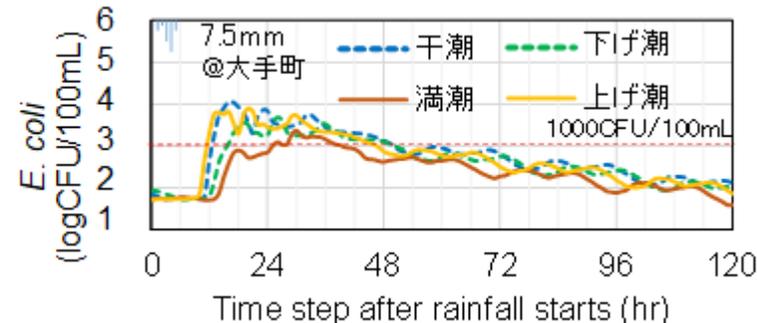


モデル計算例: 降雨発生時の4つの潮汐条件(大潮)

降雨量38.5mm @大手町の例
中降雨 大潮条件(4潮時)



降雨量7.5mm@大手町の例
小降雨 大潮条件(4潮時)



様々な潮汐条件における大腸菌濃度変化(小降雨)

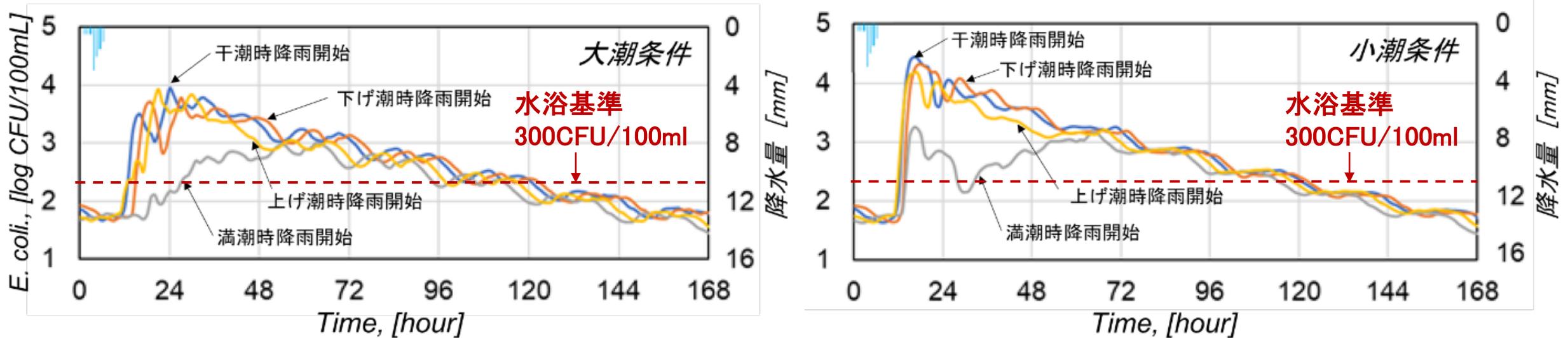
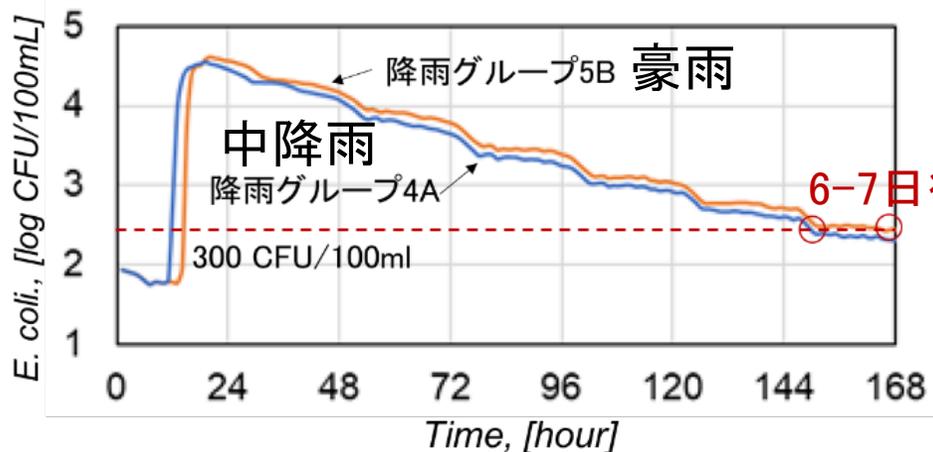
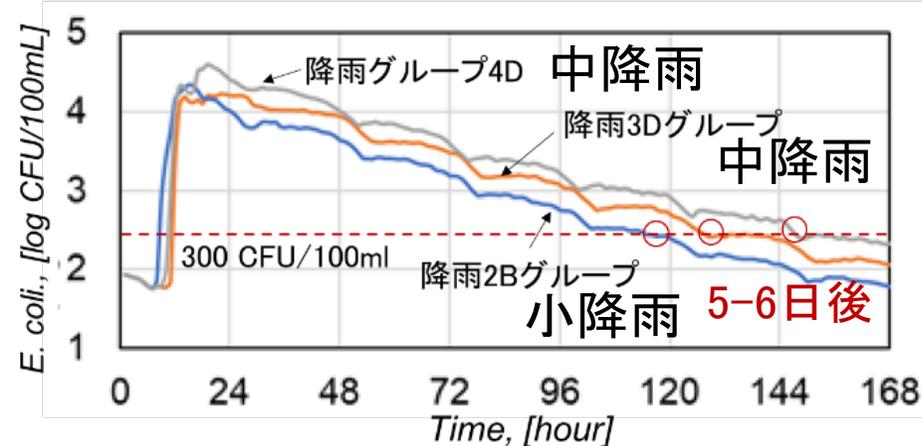
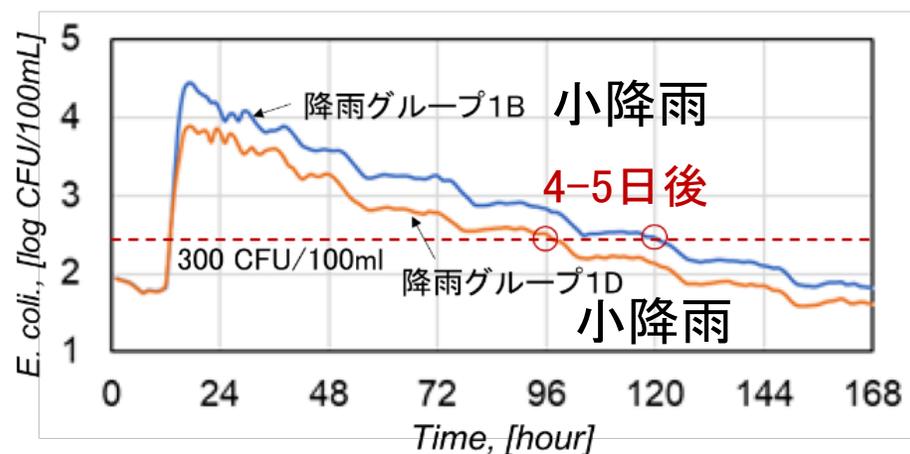


図 様々な潮汐条件におけるお台場海浜公園での大腸菌濃度変化(降雨グループ1B)

- 降雨量が少ない場合は、降雨発生における大潮や小潮、満潮や干潮、上げ潮や下げ潮など潮汐条件により、大腸菌濃度変化は大きく異なる。
- 隅田川から河口域のCSO由来の糞便汚染水塊が潮汐作用を受けてお台場海浜公園まで移動する時間が異なることや、流下過程における希釈、塩分や太陽光による不活化の影響を受けていることを反映している。

降雨グループの大腸菌濃度変化の包絡線



- 降雨発生から8-12時間程度で、お台場海浜公園での大腸菌濃度は急上昇して、その後徐々に低下する。
- 水浴用途の水質環境基準値(大腸菌(300CFU/100ml))以下に低下するまでの日数は、小降雨グループ1でも最大4~5日となる。
- 小降雨グループ2、中降雨グループ3,4と降雨量が多くなるにつれて、5~6日程度まで長くなる。
- 豪雨グループ5では、7日程度経過して基準値以下となることが想定される。

まとめ

- 区部8排水区内の13年間の降雨データを用いて、雨天時越流水量の空間分布を反映できるような降雨の類型化を行った。その結果、雨天時越流水の発生が起きないあるいはその影響がお台場に及ばない降雨を抽出することが可能となった。
- 類型化された降雨グループごとに、降雨後の糞便汚染状況を予測するため様々な潮位条件でのモデル計算結果を得て、濃度経時変化の包絡線を得ることで安全側の大腸菌濃度変化のデータベースを新たに構築した。
- 夏季において発生した降雨に対して、どの降雨グループにあてはまるかを判定することで、お台場海浜公園における水浴の可否判断を行い、CSOが発生して糞便汚染の影響が想定される降雨グループであれば、当該グループに対応した大腸菌濃度変化データを参照して、水浴可能となるまでの経過日数の予想に利用できるものと考えられる。

ご清聴ありがとうございました。

第60回下水道研究発表会@札幌
N-3-1-2 (2023年8月2日)

お台場海水浴予報のための新たな降雨分類に 基づく大腸菌濃度変化データベース

発表者

中央大学研究開発機構

古米 弘明

e-mail: hfurumai756@g.chuo-u.ac.jp

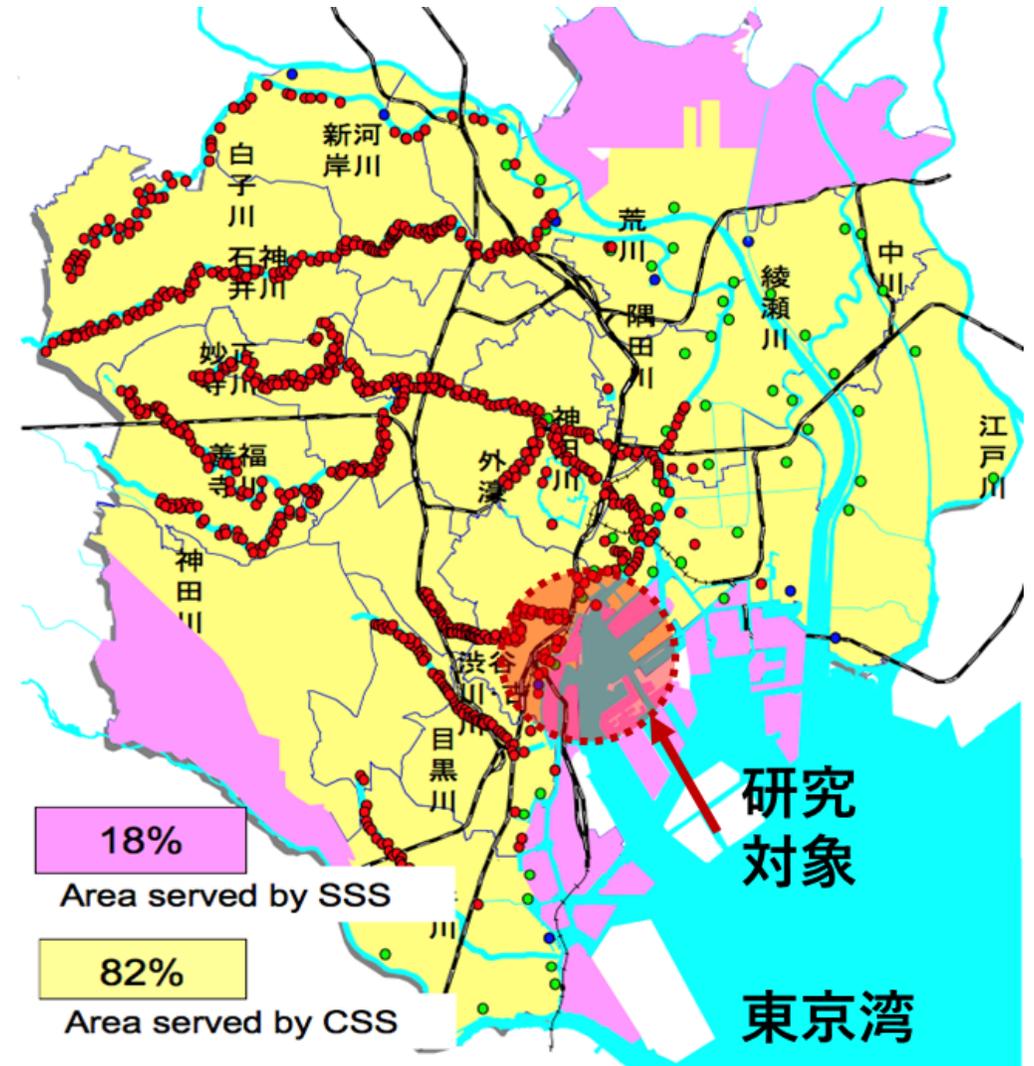
8排水区の降雨特性に基づく降雨類型化

雨天時越流量の空間分布を反映するために、区部の排水区内の降雨分布特性を考慮した降雨の類型化を行う。

区部の6河川流域と隅田川の2ポンプ排水区

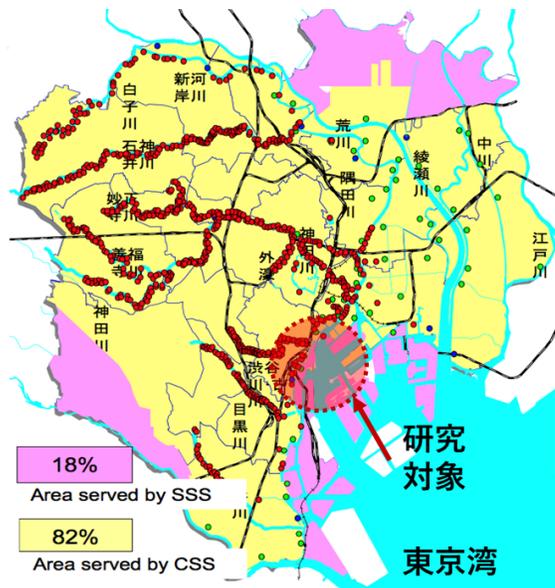


東京都区部の雨水吐口

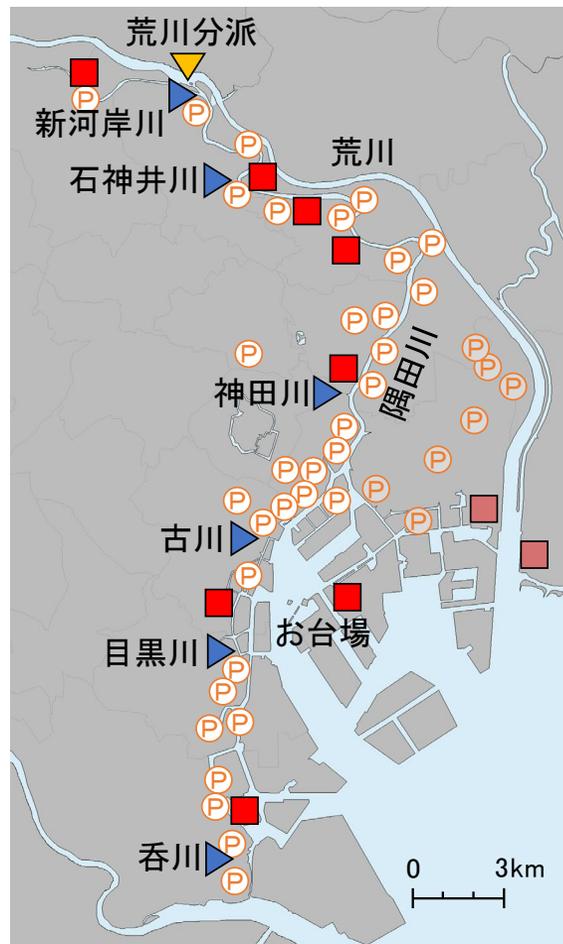


研究対象領域とCSO排出源

区部の雨水吐口

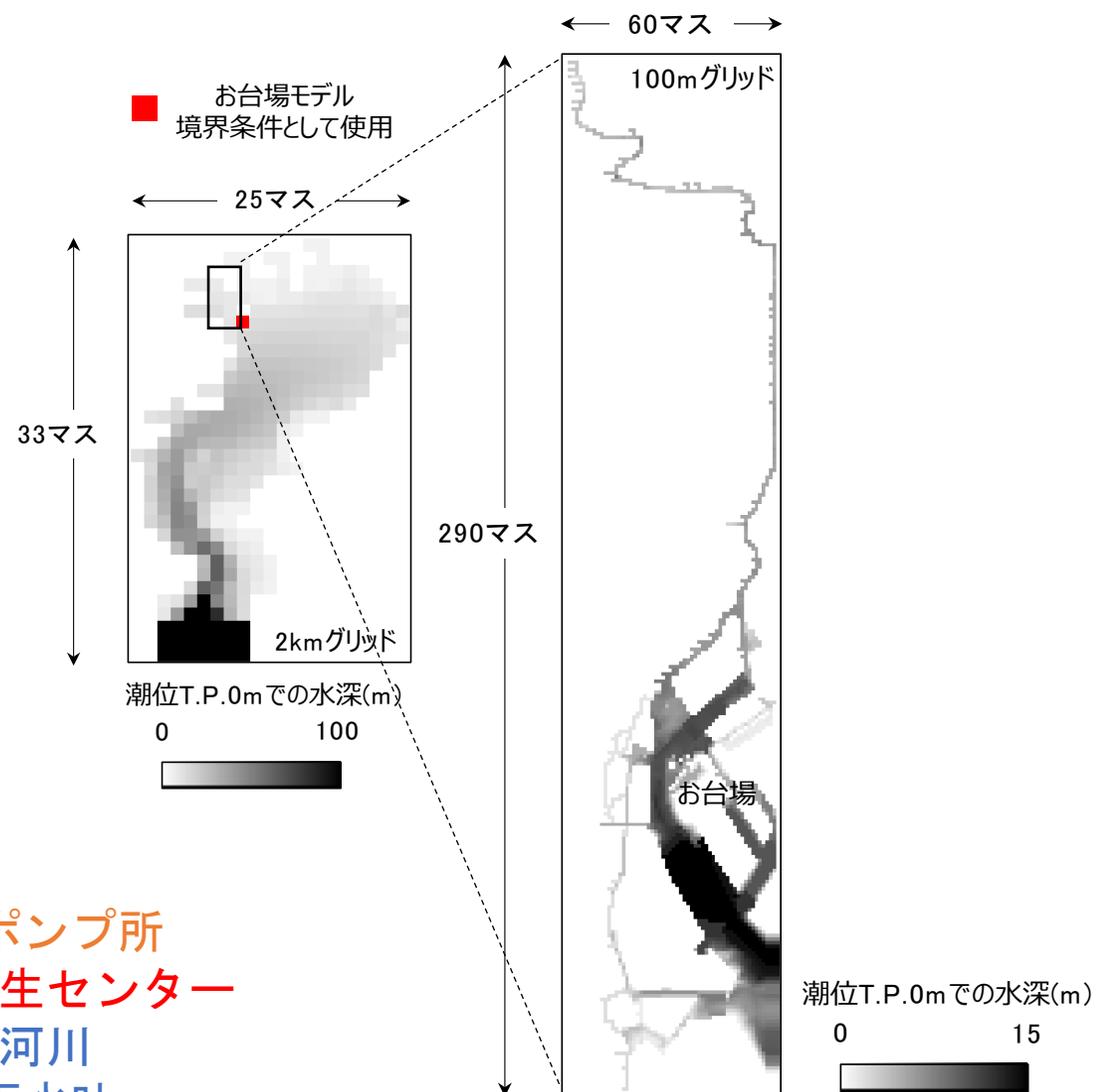


区部の6河川流域と隅田川の2ポンプ排水区

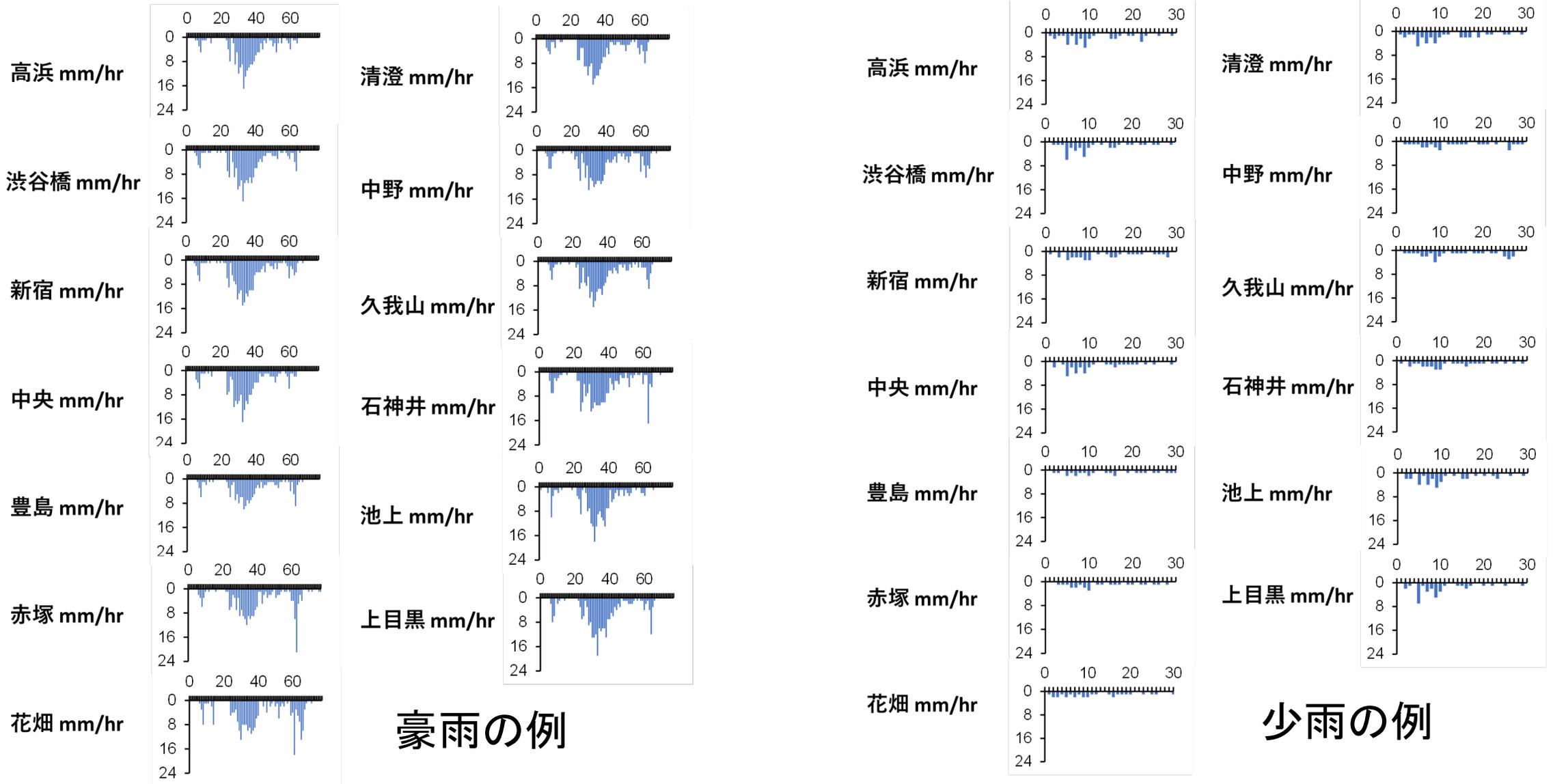


- 様々なCSO排出源
- Ⓧ 29 雨水ポンプ所
 - 6 水再生センター
 - ▶ 6 流入河川
 - 約800 雨水吐

3次元流動水質解析モデル



降雨データの入力：区部13地点の降雨データを入力して、流出量計算



Rainfall distribution (G4)

Rainfall distribution (G2)

排水区ごとの降雨特性による降雨の類型化(比較)

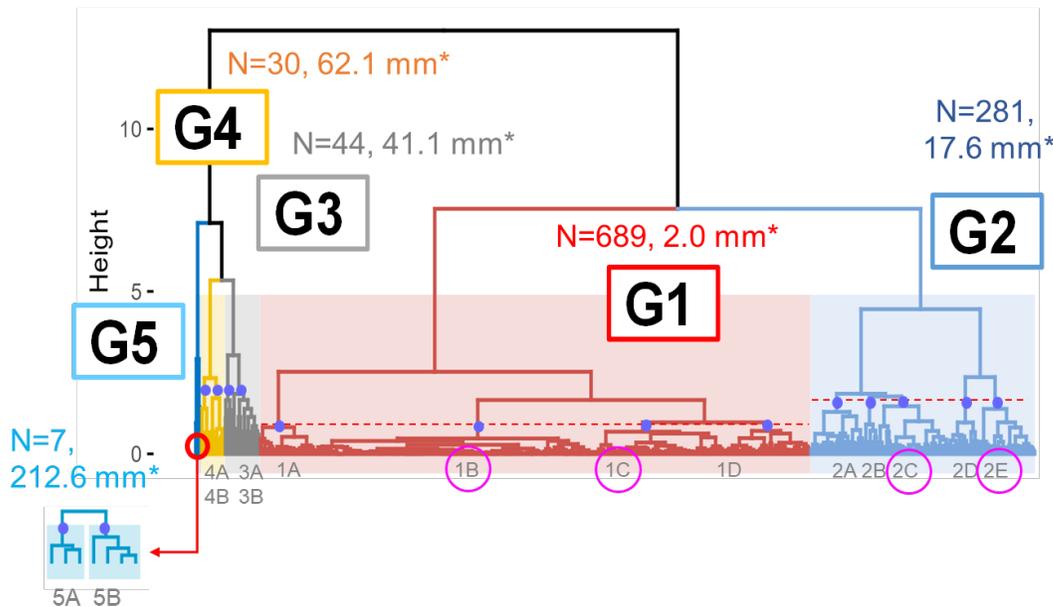
13年間(2008~2020年)の6月から11月の降雨(N=1051)

5分類(G1-5)から6分類(G1-6)に変わった。

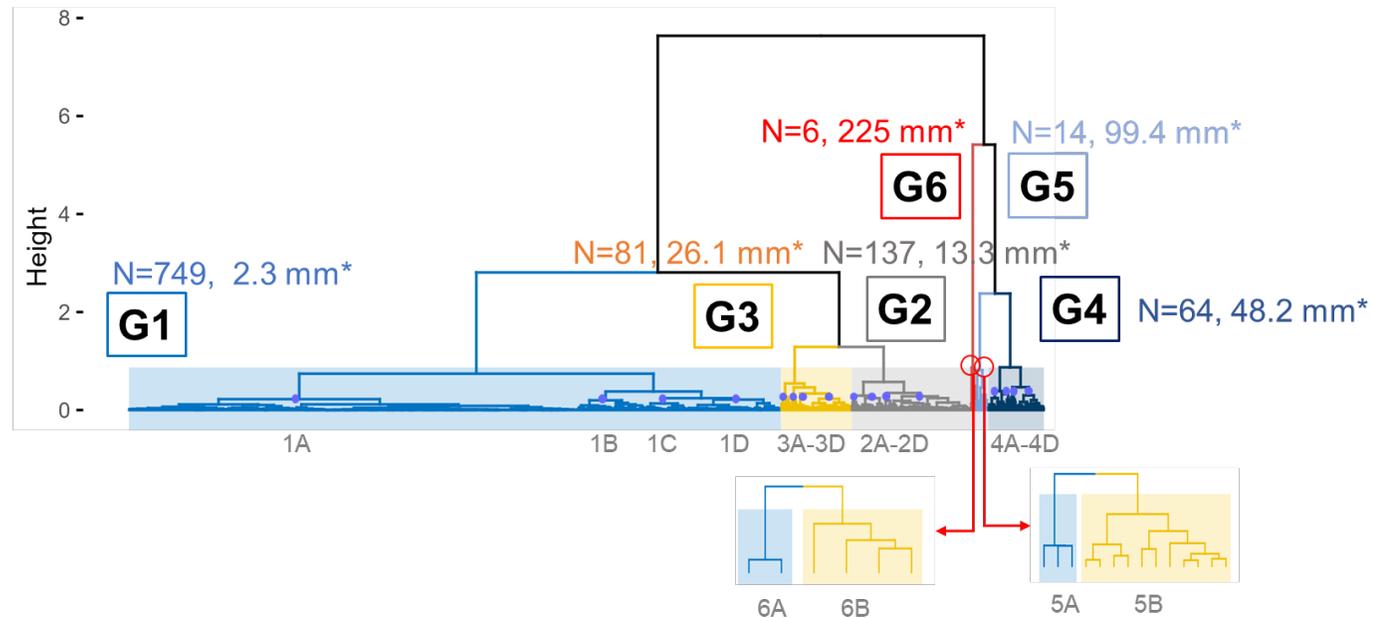
3つの特性による類型化
(降雨強度、継続時間、積算降水量)

1つの特性による類型化
(積算降水量のみ)

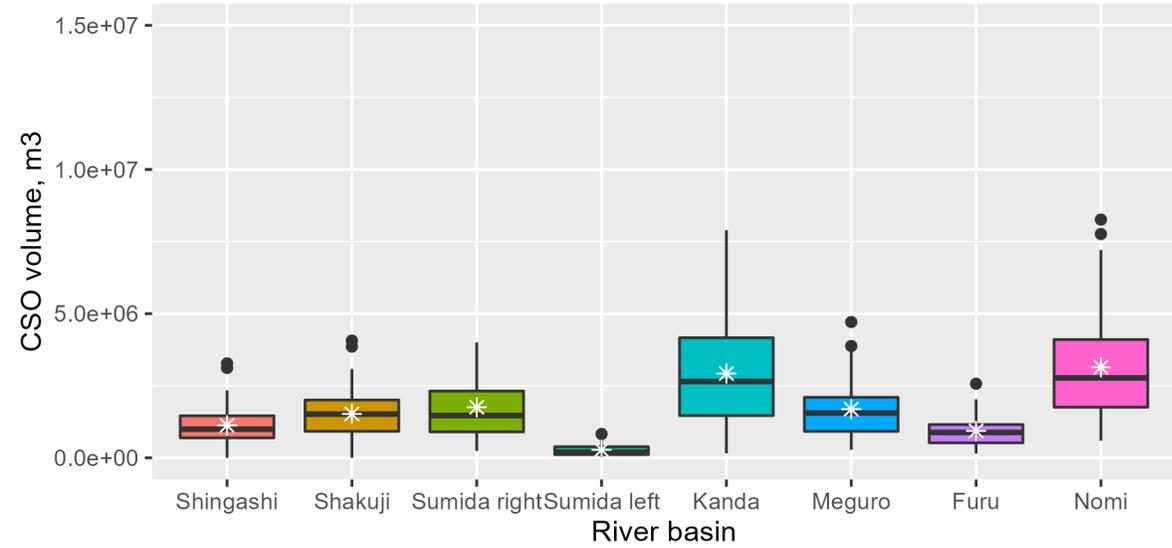
Dendrogram (IDT)



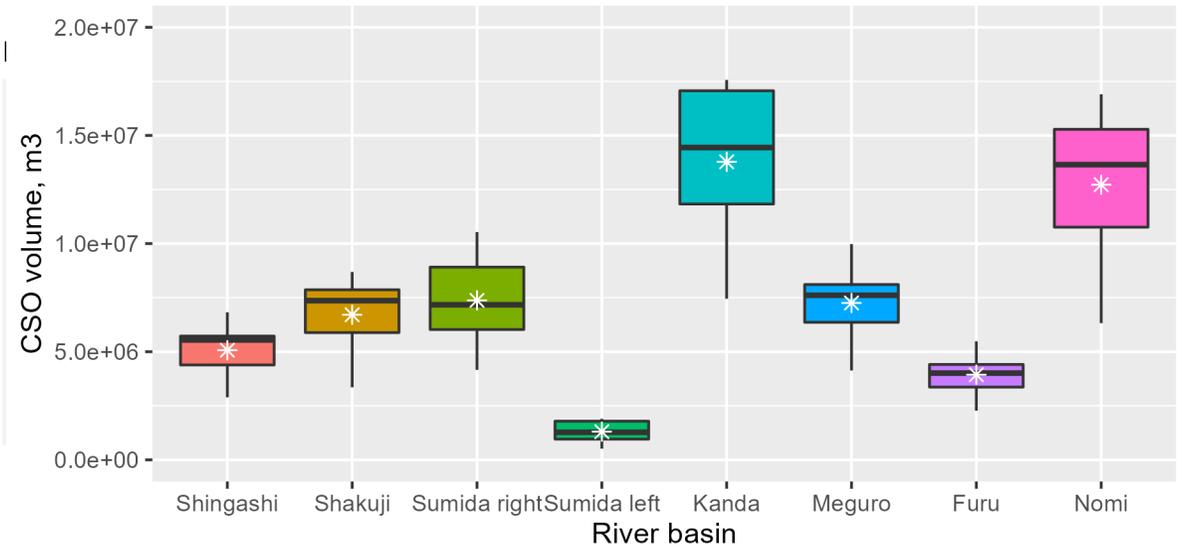
Dendrogram (T)



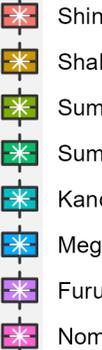
(IDT, n=45)



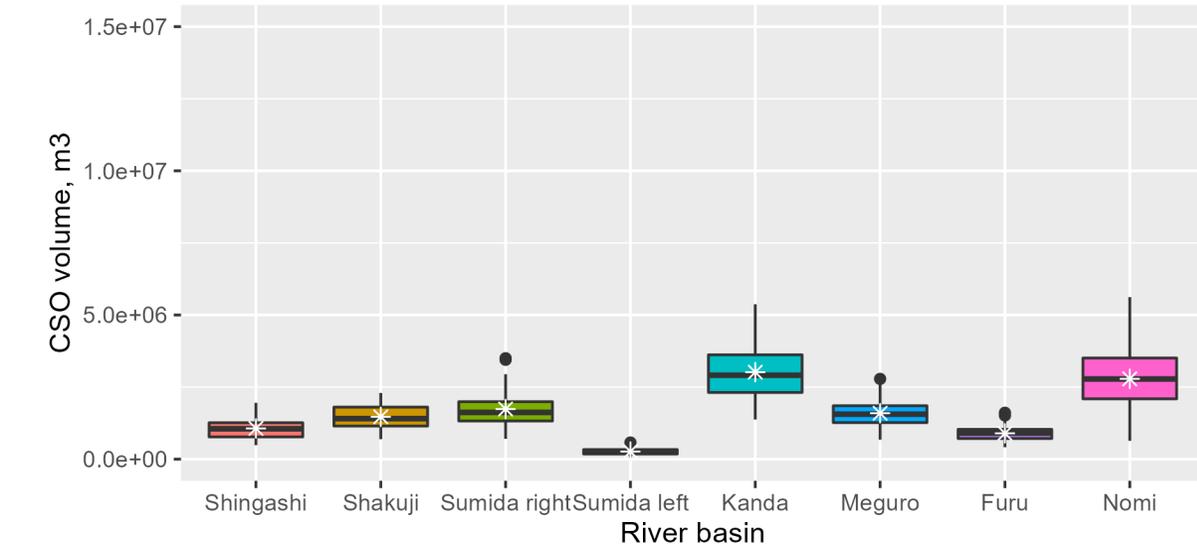
(IDT, n=45)



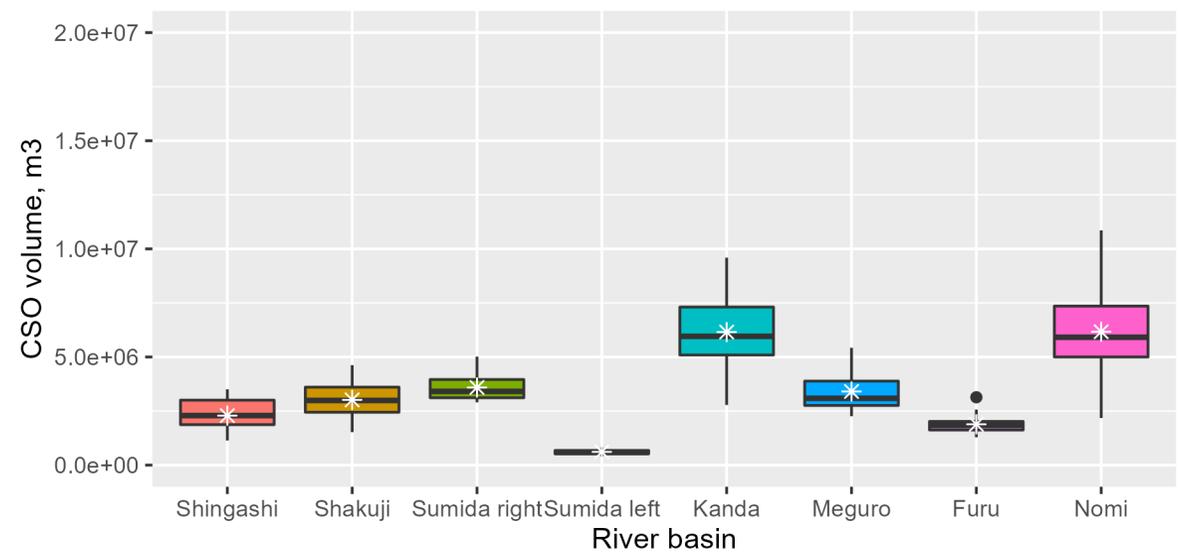
Label



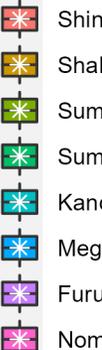
(T, n=63)



(T, n=63)



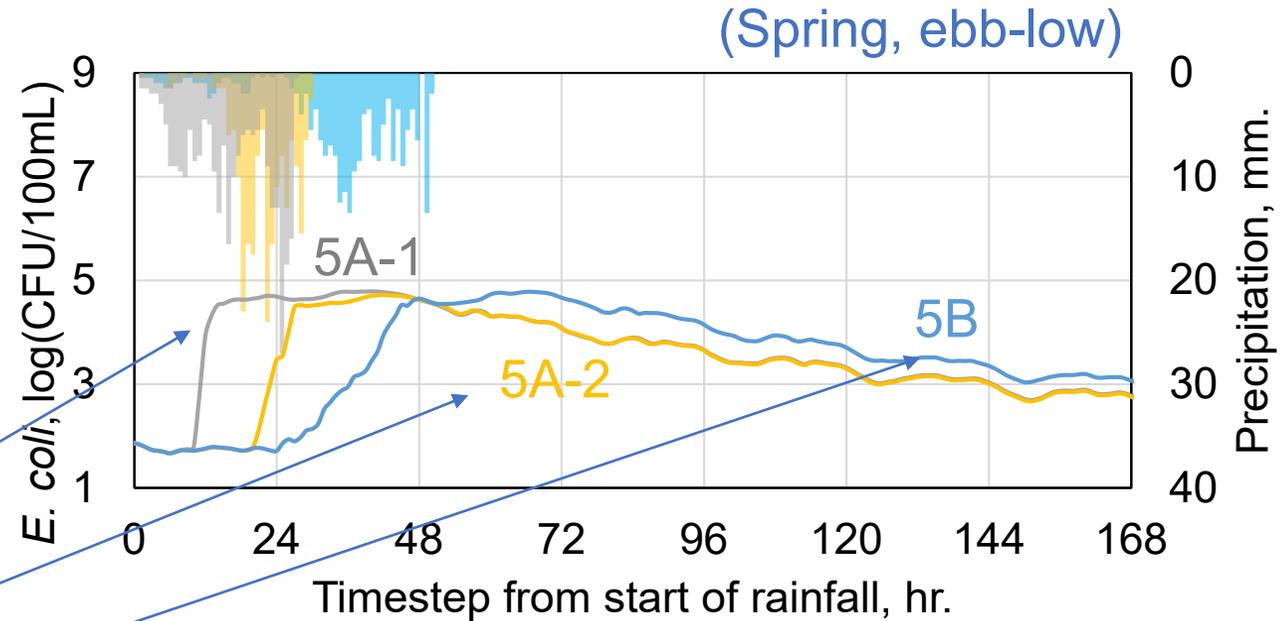
Label



23の代表的な降雨イベントの比較

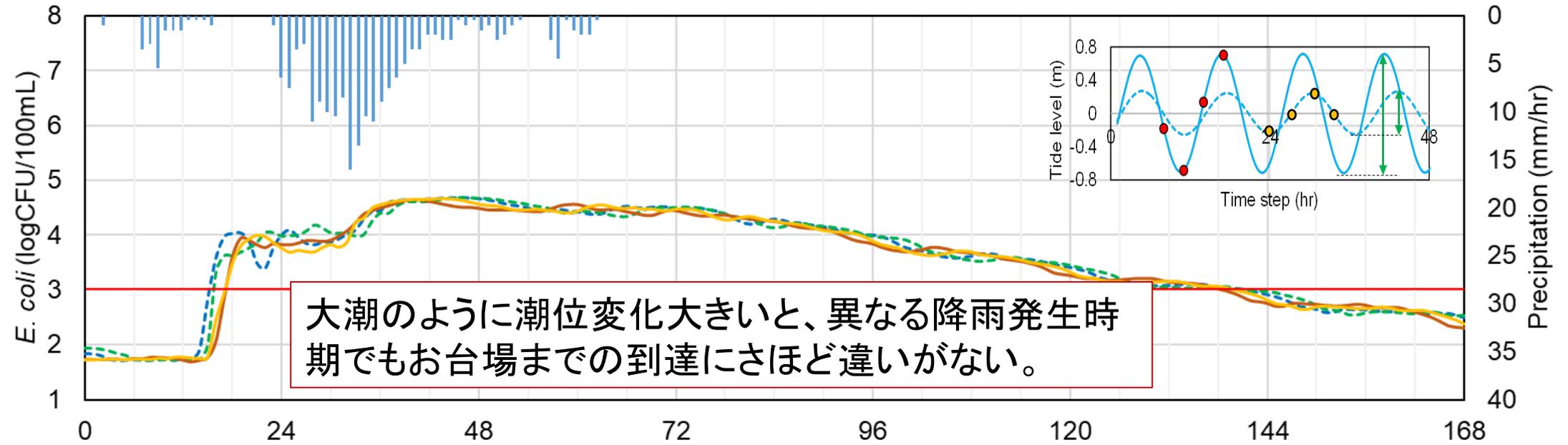
Ref. no.	Clustering (T)	Clustering (IDT)	Event name	Short name
W1	1A	1B	12-2015-06-17-10	2015-10
W2	1A	1C	15-2014-07-18-19	2014-78
W3	1B	1A	04-2020-10-19-12	2020-74
W4	1C	1D	05-2017-06-13-02	2017-04
W5	1D	1D	08-2010-07-07-20	2010-21
W6	2A	2C	15-2011-09-19-21	2011-46
W7	2B	2B	09-2017-07-18-14	2017-15
W8	2C	1D	01-2013-09-04-02	2013-40
W9	2D	2C	05-2016-10-17-07	2016-53
M1	3A	2A	13-2017-07-29-14	2017-18
M2	3B	2E	04-2014-09-06-19	2014-50
M3	3C	2E	15-2020-06-28-01	2020-14
M4	3D	2A	19-2014-08-29-22	2014-46
M5	4A	3B	03-2014-10-13-14	2014-62
M6	4B	4A	03-2015-07-03-02	2015-20
M7	4C	3B	08-2015-07-15-23	2015-25
M8	4D	2D	02-2015-06-05-16	2015-02
M9	4D	4B	09-2020-06-18-20	2020-08
H1	5A	4A	16-2011-09-20-13	2011-47
H2	5B	3A	09-2010-09-15-20	2010-41
H3	6A	5A	02-2014-10-05-03	2014-61
H4	6B	5A	05-2019-10-11-11	2019-54
H5	6B	5B	07-2017-10-20-18	2017-51

No CSO



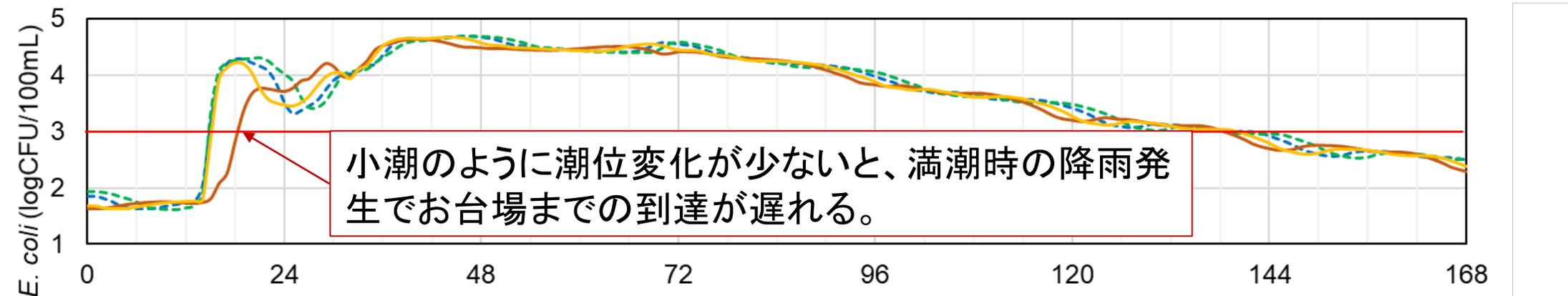
豪雨の場合

大潮の4つの潮時に降雨発生



大潮のように潮位変化大きいと、異なる降雨発生時期でもお台場までの到達にさほど違いがない。

小潮の4つの潮時に降雨発生

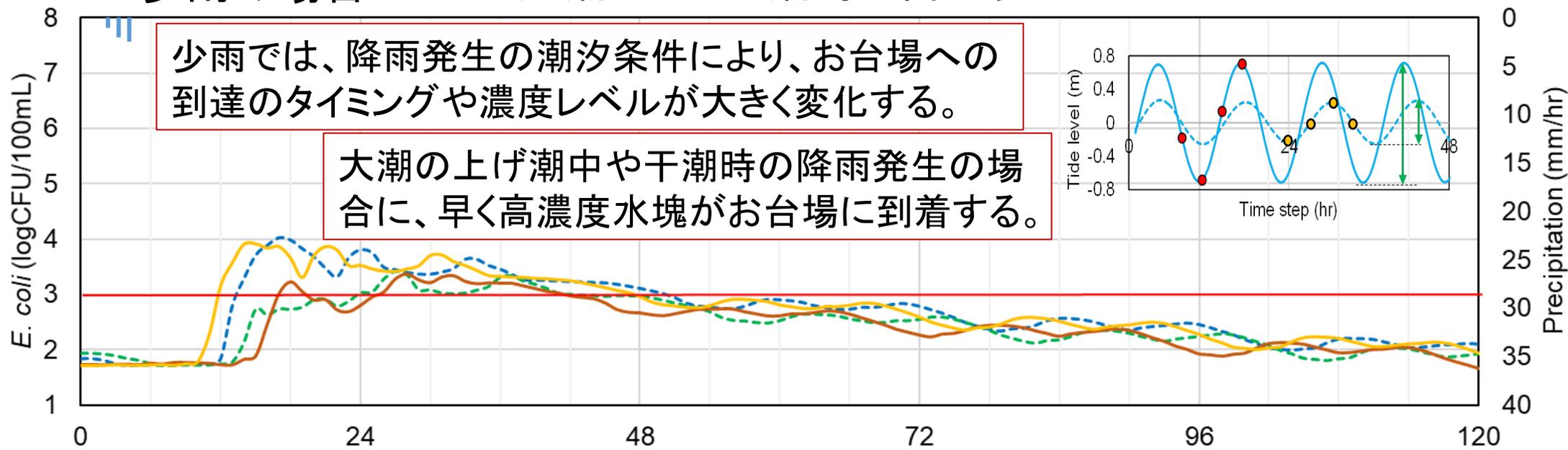


小潮のように潮位変化が少ないと、満潮時の降雨発生でお台場までの到達が遅れる。

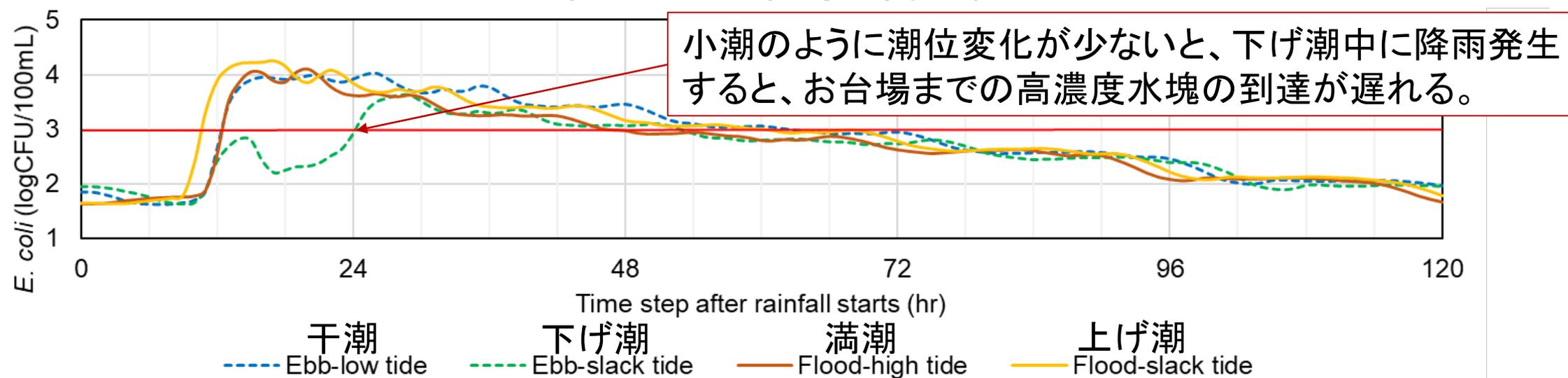
- Time step after rainfall starts (hr)
- 干潮
--- Ebb-low tide
 - 下げ潮
--- Ebb-slack tide
 - 満潮
--- Flood-high tide
 - 上げ潮
--- Flood-slack tide

少雨の場合

大潮の4つの潮時に降雨発生



小潮の4つの潮時に降雨発生



様々な潮汐条件における大腸菌濃度変化

- 強い降雨グループでは、どの潮位条件においても大腸菌濃度の経時変化はほぼ類似しており、水浴基準(1000CFU/100mL)を大きく超えて糞便汚染状況が数日間継続する。
- 降雨量数m以下のG1では基準値を超えるほどの雨天時越流量はないことが確認された。
- 5サブグループに細分化したG2のうち、発生頻度の高いG2Bでは、潮位変化幅条件、降雨発生時期の潮汐状況が濃度変化に大きく影響を与える。

降雨G2Bにおける大腸菌濃度変化 a) 大潮と小潮、b) 4つ降雨開始時間(大潮)

