

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

1. はじめに

お台場海浜公園は臨海副都心内にある貴重な水辺を提供する公園であり、通常は遊泳禁止となっているものの夏季に「泳げる海、お台場！」を目指すアピール活動として「お台場プラージュ」という海水浴イベントが開催されている。しかし、降雨後には合流式下水道雨天時越流水（CSO）の影響を受けるため、糞便汚染指標である大腸菌濃度が上昇する。その濃度変化は、越流量の時空間分布や潮汐条件に大きく影響を受けることから、衛生面での安全性を確保して海水浴を継続的に実現するためには、水浴の適・不適判断を行うための情報として糞便汚染状況の予測が求められる。著者らは港区と連携して、越流水発生量や気象・潮汐条件を与えて3次元流動水質モデルで様々な降雨における大腸菌濃度変化を計算して、発生した降雨タイプごとの濃度変化データベースに基づく海水浴予報システムを試行中である¹⁾。しかし、小潮の少雨時などで大腸菌実測値が予報システム値を下回るケースもあり、精度向上のためのシステムの改良が必要である²⁾。そこで、越流量の空間分布を反映できるように降雨を新たに分類し直して、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降雨タイプごとの大腸菌濃度変化データベースを構築した。

2. 研究方法

2.1 沿岸域における糞便汚染予測のための3次元流動水質モデル

糞便汚染予測のための3次元流動水質モデルの解析領域は、お台場海浜公園周辺海域の流況を表現できるように荒川から隅田川へ分岐する岩淵水門から臨海トンネル付近までである。CSOの排出源として29の雨水ポンプ所、8箇所の水再生センター、6つの流入支川（雨水吐き口からの越流量を反映）を考慮して、解析領域内の大腸菌濃度の時空間分布を計算するモデルである³⁾。

雨水流出量を合理式合成法により流入河川排水区単位で求め、汚水量との和から遮集量を引いた量をCSO量とする。また、ポンプ所からのCSO量は雨水排水面積と当該河川排水区の排水面積の比を用いて算出する。なお、汚水と簡易処理水の大腸菌濃度を 9.6×10^6 CFU/100mL、 3.0×10^4 CFU/100mLと設定する。

モデルに、解析領域の境界条件、気象データや河川基底流量、雨水流出量、雨天時におけるCSO排出量などの条件を入力して、100m格子でナビエストークス式と連続式で流動場を求めるとともに、水温、塩分、大腸菌濃度は σ 座標系に変換した移流拡散方程式を解くことで計算結果を得る。

2.2 降雨イベントの類型化

従来の降雨イベントの類型化では、図1に示す13地点の時間最大降雨強度、降雨継続時間、積算降雨量をパラメータとして階層的クラスタ分析（Ward法）を行ったが、本研究では、CSO量の空間分布をより反映するために、越流量に最も影響を与える積算降雨量だけを用いて類型化を行う。

13年間（2008～2020年）の6月から11月の降雨（N=1051）について、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る。そして、8排水区の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、階層的クラスタ分析を行う。



図1 東京都水防災総合情報システムの13地点の降雨観測点

2. 3 モデルの計算における潮汐及び日照条件

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。大腸菌の消長に大きく影響する日照条件として、図2に示すように夏季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。これにより、水浴可否判断の安全側の濃度変化を求める。

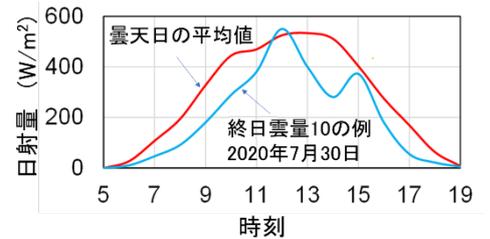


図2 夏季の曇天日の平均的な日射量変化

3. 結果と考察

3. 1 排水区ごとの降雨特性による降雨の類型化

解析対象の1051降雨は、図3のデンドログラムに示されるように6つの降雨グループ（G1～G6）に大きく類型化された。8排水区の前平均降雨量が2mm程度のG1（N=749）が71%、10mm程度から数十mmまでのG2（N=137）、G3（N=81）、G4（N=64）がそれぞれ13%、8%、6%で、100mm以上の相対的に強い降雨グループG5（N=14）、G6（N=6）は合計でも2%程度と発生頻度は非常に少ない。さらに降雨は、20のサブグループ（1A-1D、2A-2D、3A-3D、4A-4D、5A&5B、6A&6B）に分けることができた。このうち、降雨量の少ないG1のサブグループ1Aは、CSOが発生しないあるいはその影響がお台場に及ばない降雨群であった。

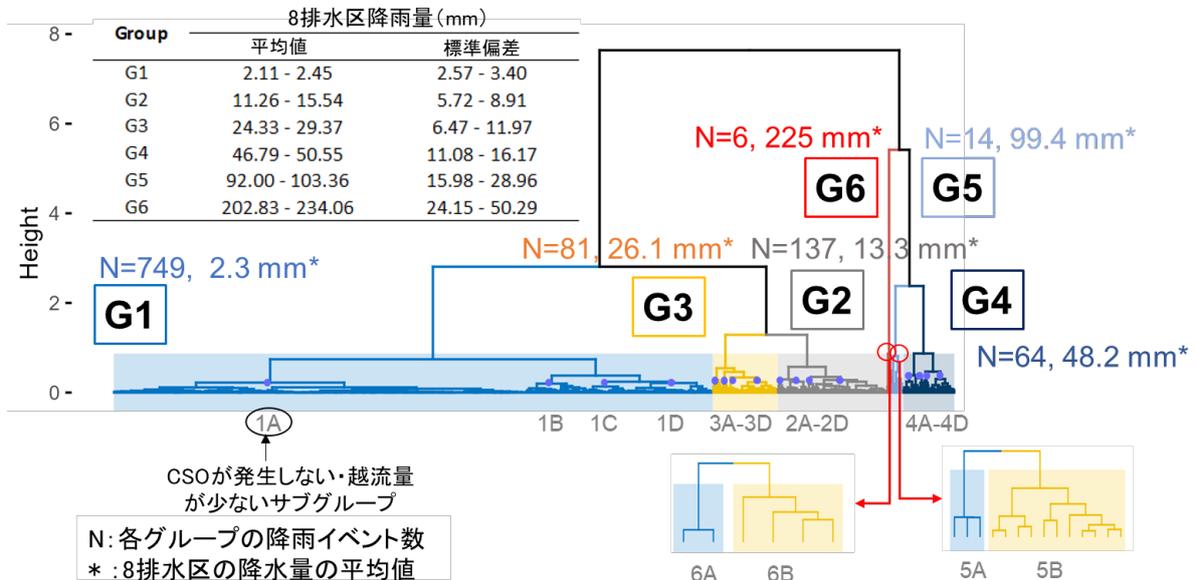


図3 降雨の類型化結果（デンドログラム）

3. 2 様々な潮汐条件における大腸菌濃度変化

お台場海浜公園における大腸菌濃度変化の3次元流動水質モデルによる再現性は確保できていることから、様々な潮汐条件において降雨が発生した場合を想定した大腸菌濃度の経時変化を得た。例として、図4に降雨グループ1Bの計算結果を示す。降雨量の少ない場合は、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

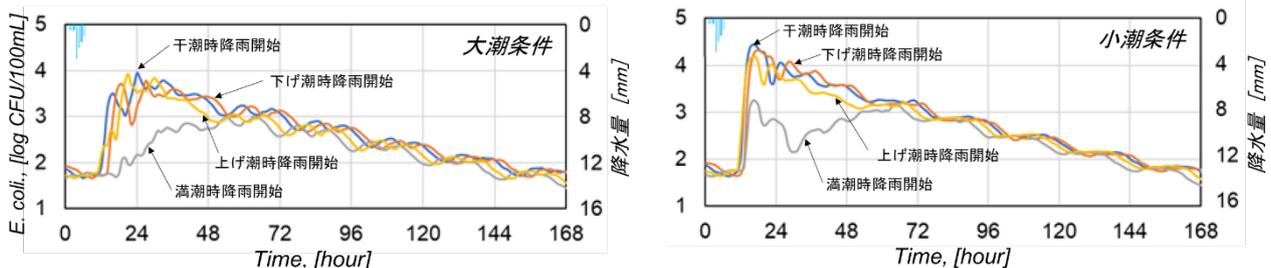


図4 様々な潮汐条件におけるお台場海浜公園での大腸菌濃度変化（降雨グループ1B）

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。

3. 3 降雨グループの大腸菌濃度変化データベース

上記のように大腸菌濃度変化は、降雨発生時の潮汐条件によって影響を受ける。したがって、お台場海浜公園における水浴の可否判断に利用するには、安全側の大腸菌濃度の予測結果が求められる。そこで、各降雨グループの代表的な降雨について上記の 8 つの潮汐条件での濃度経時変化を得て、それらの包絡線を得ることで安全側の大腸菌濃度変化データベースとして構築した。その包絡線データの例を図 5 に示す。

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の大腸菌数 (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 4-5 日となる。降雨グループ 2, 3, 4 と降雨量が多くなるにつれて 6 日程度まで長くなる。さらに、降雨量の多い降雨グループ 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。

4. 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た。そして、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。降雨量が少ない降雨グループでは、潮汐条件の影響を大きく受けることが明らかになった。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。

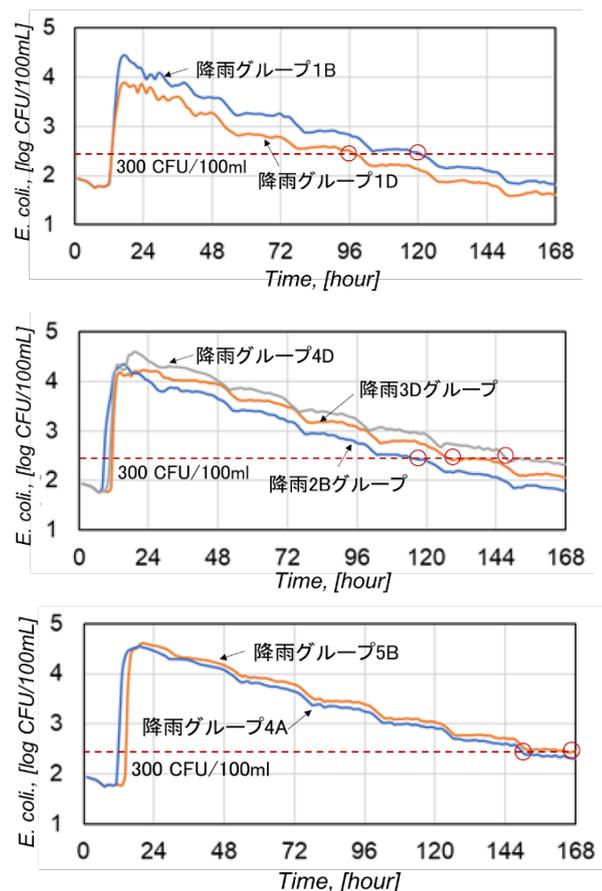


図 5 降雨グループの濃度変化の包絡線

謝辞: 本研究は、科研費基盤研究(B)「都市沿岸親水空間における雨天時越流水による糞便汚染の予測と制御 (20H02283)」と港区との共同研究「お台場における海水浴予測システムの構築」において実施した。また、東京都建設局より降雨データの提供をいただいたことに併せて謝意を表す。

参考文献

- 1) 古米 (2020) お台場海浜公園における海水浴予報のための降雨後糞便汚染予測データベースの構築、第 57 回下水道研究発表会講演集、382-384
- 2) 徳岡ら (2023) 水質モニタリングに基づくお台場海水浴予報システムの運用改善策の検討 (3-A-14-4)、第 57 回日本水環境学会年会講演概要集、388
- 3) Shibata, T. et al. (2014) Model evaluation of faecal contamination in coastal areas affected by urban rivers receiving combined sewer overflows. *Wat. Sci. Tech.* 70(3), 430-436. DOI: 10.2166/wst.2014.225

問合せ先：〒112-8551 東京都文京区春日 1 丁目 1 3-2 7 中央大学 研究開発機構

古米 弘明 TEL : 03-3817-1613 E-mail : hfurumai756@g.chuo-u.ac.jp