

B-6 降雨後の東京湾沿岸域における鉛直3層での曳航連続採水による糞便汚染の定量評価

○柴田 智世¹・片山 浩之¹・古米 弘明^{2*}

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

²東京大学大学院工学系研究科附属環境制御研究センター（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

* E-mail: furumai@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

首都圏における代表的な都市親水空間であるお台場海浜公園を含む東京湾沿岸域では、降雨後に大腸菌濃度が上昇することがわかってきている (Katayama *et al.*, 2004; Haramoto *et al.*, 2006)。糞便汚染指標値の増加には、雨天時における合流式下水道越流水が大きく影響しており、湾に直接ポンプ放流されるものだけでなく、雨水吐き口やポンプ所からの越流水を受けた都市河川を経由して、湾奥部に流入する汚濁負荷もあり、糞便汚染の状況は複雑であることが想定される。特にお台場海浜公園における糞便汚染に関しては、降雨初期においては目黒川からの負荷が、数日後からは隅田川を経由する負荷の影響が大きいことがモデル計算により指摘されている (Shibata *et al.*, 2014)。

東京都などによる定期採水調査では、採水器を用いた定点観測が行われてきているが、鉛直方向の採水に時間を要し、また面的な定量評価ができないという課題があった。そこで、安藤ら (2000) はプラスチックシリンジを用い、鉛直方向の採水を円滑に行う方法を提案している。また Hellweger *et al.* (2008) は、船で河川内を直線的に航行しながら、降雨後にポンプにより連続採水する調査を行っている。

そこで本研究では、東京湾沿岸域において鉛直3層での曳航連続採水を行うことで、降雨直後からの糞便汚染の実態を詳細に調査した。

2. 方法

2.1 採水方法及び降雨条件

2014年6月5～13日の降雨（総降雨量247mm、図1）を対象に、6, 7, 8, 10, 13, 18日（降雨開始から1, 2, 3, 5, 8, 13日後）の6回、10時～14時の間に採水を行った。調査日の6, 13, 18日が引き潮、7, 8, 10日が満ち潮であった。また、レインボーブリッジ付近から目黒川河口部付近の約2.5kmの測線にて、曳航連続採水を行った（図2）。

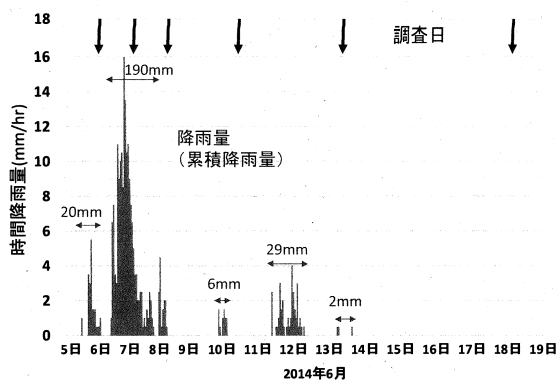


図1 降雨量（大手町観測所）と調査日

具体的には、船の側面に鉄パイプを固定し、水面下0.5m(表層), 3m(中層), 5m(底層)からアスピレーターにより別々に海水を吸い上げ、100mlプラスチックシリンジにより採水を行った（図3）。また、同様の装置を用いて、お台場海浜公園と河口部（隅田川・目黒川）の3点において、3層の定点採水を行った。さらに補助点として、浜離宮・晴海・芝浦の3点で表層採水を実施した。

2.2 測定項目と測定方法

塩分濃度と水温を、鉄パイプに各センサを取り付けることにより、連続測定した。また定点採水時では、鉛直方向にセンサによる濁度測定を実施した。

生物指標として、大腸菌、大腸菌群をクロモカルトコリフォーム寒天(Merck, USA)を用いた単層寒天法で、37℃、24時間培養した。

化学指標としては、紫外線吸光度 (254 nm) を分光光度計UH5300を用いて測定した。アンモニア性窒素はHACH試薬を用い、吸光度計により測定した。DOCはTOC-V (SHIMADZU製) にて測定した。SSに関しては、定点採水地点のお台場・目黒川河口・隅田川河口の表層のみ、ろ過法によりGF/F フィルター (Whatman 製) を用いて測定した。

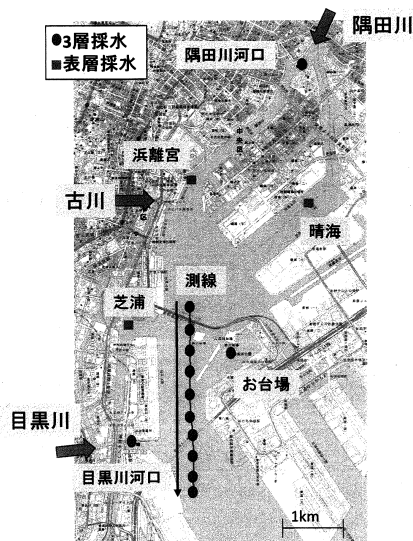


図2 調査場所

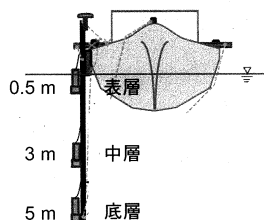


図3 採水方法と採水深さ

3. 結果及び考察

3.1 流入河川の河口における大腸菌濃度変化

図4に、定点採水を行った隅田川河口・目黒川河口・お台場における表・中・底層における大腸菌濃度の経時変化を示す。まず2河川に着目すると、隅田川と目黒川の表層は既に6日から 10^4 CFU/100mlより高い濃度が検出されている。図1に示した通り、6日の採水以前に発生した20mmの降雨によるCSOの影響であると考えられる。さらに8日の採水までに約190mmの降雨を受けて、2河川の表層は 10^5 CFU/100mlまで上昇している。

中・底層に関しては、まず隅田川河口では6日の時点では表層より2～3 log低く、明確な違いが現れているが、7日以降は3層ともほぼ等しい濃度になっている。各層の塩分濃度の分布は、6日は表層が13‰、中・底層が25‰であるが、7日以降は3層ともほぼ淡水となった。従って、隅田川河口は、6日夜からの大量の降雨を受けて、少なくとも水深5mまでは河川流出水で十分に混合した状態になっていたため、3層における大腸菌濃度の分布が無くなったと考えられる。

一方、目黒川河口では、塩分濃度が表層では常に10‰以下、中・底層は常に20 ‰以上と明確な違いがあるにもかかわらず、中・底層の大腸菌濃度は7日には表層とほぼ等しい濃度まで上昇し、その後も上下を繰り返して

いる。従って目黒川河口は、隅田川と異なり雨天時下水を含む流出水は中・底層まで十分には混合せず、表層をすべるように移動する一方で、沈降、河床の巻き上げなどに起因して少なくとも水深5mまでは大腸菌が到達していると考えられる。

3.2 お台場における大腸菌濃度変化

お台場では、2河川の河口付近より濃度が低くめであり、糞便汚染レベルは相対的には低いと考えられるが、18日の全ての層で 10^2 CFU/100ml以上と、連続する降雨の影響から汚染レベルの低下に時間を要したことがわかる。

特に表層は6日の時点で既に 10^4 CFU/100mlまで上昇し、全層が7日に最も濃度が高くなり、表層は 10^5 CFU/100ml近くまで上昇しているが、高濃度になった原因は今回の調査だけでは断定できない。他の定点の結果からは、先に述べたとおり6日の時点で 10^5 CFU/100mlまで大腸菌濃度が上昇しているのは目黒川河口でなく隅田川河口であることから、Shibata *et al.* (2014)が報告している2007年11月の降雨イベントと異なり、6日夜の大量の降雨が原因で、隅田川由来の糞便汚染も目黒川由来よりも先に7日に到達した可能性が考えられる。

一方、お台場に近い芝浦地点の表層水では、6日に 10^5 CFU/100ml以上の濃度が検出されたことから、付近の芝浦ポンプ所などからの排出がお台場に影響を与えた可能性も想定される。従って、お台場の汚染に影響を与える排出源が複数考えられるため、汚染実態をより定量的に把握するためには、現地観測に加えて、3次元流動水質モデルを用いた挙動解析が有効であると考えられる。

3.3 曳航連続採水大腸菌濃度変化

図5に、曳航連続採水の大腸菌濃度の結果を示した。図5に、曳航連続採水の大腸菌濃度の結果を示した。まず6日の表層において、北（グラフ左）から3番目と8番目以降でピークが2箇所見られる。大腸菌濃度だけでなく、254nm吸光度、アンモニア性窒素濃度、DOC濃度のいずれにおいても、同様の2箇所でピークが存在した。この2箇所は、ちょうど芝浦と目黒川河口付近であることから、6日の採水時までに起きた20mmの降雨によって発生したCSO由来の高濃度水塊が、芝浦付近と目黒川河口から沿岸域中心部に流れ込んできている様子を捉えていると考えられる。7日以降の表層は、場所による大腸菌濃度の差は見られず、既に沿岸域中心部は一般的な汚染レベルであると推定される。

6日と7日の中・底層の大腸菌濃度を比較すると、6日の時点では底層は表層より約2 log低く、中層は表層と底層の間を変動しているが、7日では特に底層は1～2 log上昇し、どの地点も 10^3 CFU/100ml以上である。一方で、底層の塩分濃度は両日共に約25‰であることから、6～7日の間では、雨天時下水を含んだ流出水が沿岸域中心部の

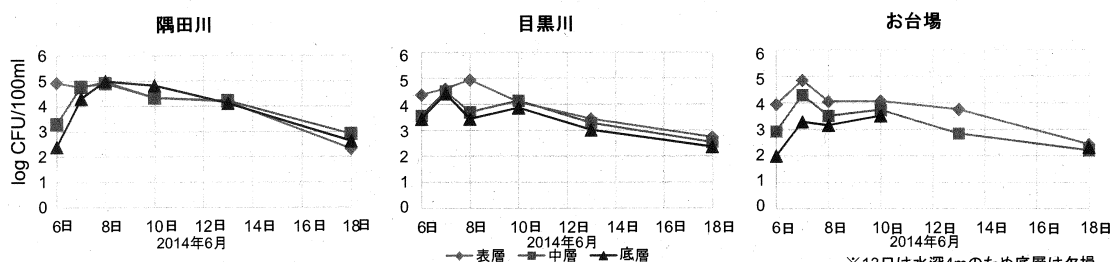


図4 定点採水による3地点3層の大腸菌濃度変化

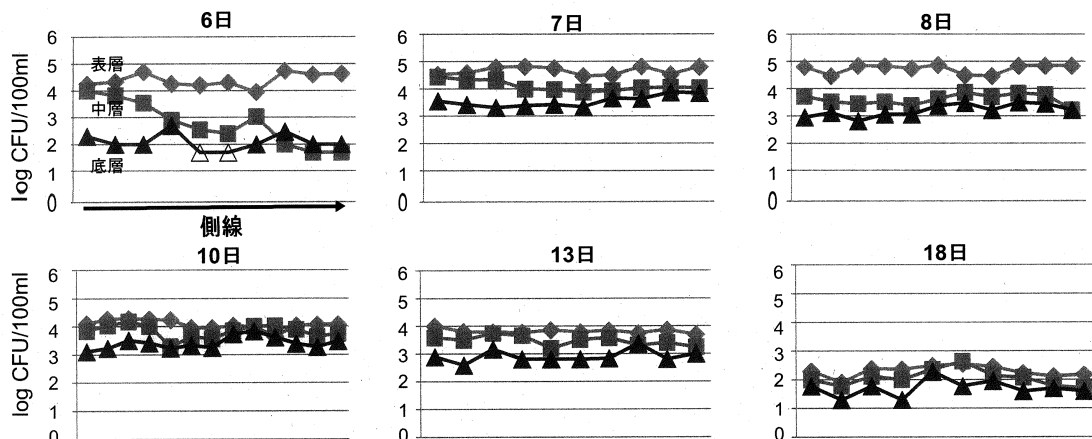


図5 東京湾沿岸域の曳航連続採水による測線3層の大腸菌濃度変化

底層へは到達していないと考えられる。従って、6～7日にかけての、少なくとも底層の大腸菌濃度上昇は、表層からの大腸菌濃度の沈降の可能性が高いと推定される。

また、7日から13日まで、大腸菌濃度の分布に大きな変化はなく、本調査期間ではCSO由来の汚濁物が断続的に供給されたことで、継続的な糞便汚染が起きたことがわかる。18日は、最後のCSOが発生したと考えられる12日の29mmの降雨から6日目にあたり、13日の大腸菌濃度に比べ表・中・底層において1 log 以上減少し 10^3 CFU/100ml以下である。しかし、過去の晴天時調査の結果では全層が 10^2 CFU/100ml以下であったことから、降雨終了後約1週間を経ても、晴天時と同様の汚染レベルまで落ちていないと推定される。

3.4 塩分濃度と大腸菌濃度の関係

図6は、調査期間中の連続曳航採水の表層の大腸菌濃度と塩分濃度の変動を示している。6日夜の豪雨を受けて6日から7日にかけて大きく塩分濃度が低下し、その後徐々に大腸菌濃度は減少、塩分濃度は上昇するものの、18日の時点で約15%と未だ降雨の影響を受けていることがわかる。

4. まとめと今後の課題

東京湾沿岸域において、2014年6月5～13日(総降雨量247mm)の降雨中及び降雨後の計6日間、曳航連続採水

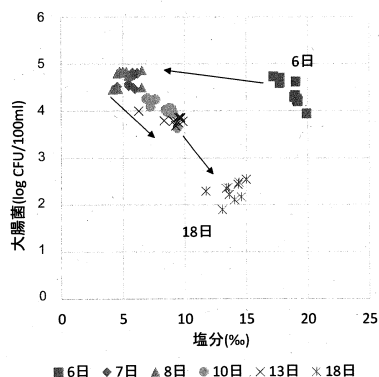


図6 測線表層の大腸菌濃度と塩分濃度の関係

を含む水質調査を行った。結果、降雨直後の6日に高濃度水塊が芝浦付近と目黒川河口から沿岸域中心部に流れ込む様子や、大腸菌の沈降現象が推察された。調査結果だけではお台場における濃度上昇の主要な汚染源を特定できず、流動水質モデルによる大腸菌の挙動解析による評価が有意義であると考えられる。

参考文献

- Katayama *et al.*, 2004, Water Science and Technology, v. 50, p. 259-262.
- Haramoto *et al.*, 2006, Water Science and Technology, v. 54, p. 225-230.
- Shibata *et al.*, 2014, Water Science and Technology, v. 70, p. 430-436.
- 安藤ら, 2000, 東京都環境科学研究所年報, p. 38-43.
- Hellweger *et al.*, 2008, Journal of theAWRA, v. 44, p. 509-522.