

審査の結果の要旨

氏名 プーピパッター ションプーヌット

東京港沿岸域では、降雨時に未処理下水がそのまま公共用水域に流出する、合流式下水道雨天時越流水問題が社会的に認識されている。特に、お台場海浜公園のような親水空間における降雨後の糞便汚染状況を把握することが期待されている。医薬品類は、未処理下水に含まれるヒト由来の化学マーカーとして有効であることから、沿岸域において微生物指標に加えて医薬品類の挙動を降雨後に調査して、複雑な糞便汚染状況を多角的に評価することは意義深い。そして、3次元流動水質モデルにより、降雨後の沿岸域における医薬品類及び糞便汚染指標微生物の消長を定量的に評価することも期待されている。

このような背景のもと、本論文は「Environmental fate modelling of PPCPs and microbial fecal indicators in Tokyo coastal area after rainfall events (東京港沿岸域における降雨後の医薬品類及び糞便汚染指標微生物の消長モデル解析)」と題してまとめられたもので、以下の8章からなる。

第1章では、研究の背景と目的について説明している。

第2章では、合流式下水道雨天時越流水 (Combined Sewer Overflow, 以下 CSO) による汚染、下水の化学マーカーである医薬品類の環境水中の挙動、および医薬品類の環境水中の消長モデルに関連する先行研究をまとめている。

第3章では、本研究における調査地域と採水方法、水質分析方法、さらに3次元流動水質モデルについてまとめている。

第4章では、隅田川上流域から東京港沿岸域にかけて、降雨後経日的に採水調査を実施して、糞便指標細菌と大腸菌ファージなどの下水の微生物マーカーとともに化学マーカーである医薬品類の分析を行った結果を議論している。医薬品類としては、下水の生物処理において除去されやすく不安定なものとして

Acetaminophen (ACE)、Theophylline (THEO)、Caffeine (CAF)を、残存性の高いものとして Carbamazepine (CBZ)、Crotamiton (CTMT)を取り上げている。異なる CSO 排出パターンと潮汐変化条件において、降雨後の濃度範囲と下水マーカールの空間分布傾向を整理している。そして、降雨後に晴天時より顕著な増加を示した糞便細菌と F 特異的 RNA フェージは類似の挙動を示す一方で、体表面吸着フェージは晴天時濃度と同程度であり、保存性の高い医薬品類と類似の挙動を示したことを報告している。特に、降雨直後に CAF は高濃度であり、汚染を追跡するマーカーとして有効であること、不安定な医薬品類と保存性の高い CTMT の比率を活用することで、沿岸水域での減衰プロセスを的確に評価することが可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、研究成果が限られている沿岸域における医薬品類の生物分解に関する実験成果をまとめている。微生物植種源として CSO に含まれる下水由来の微生物と沿岸水中の微生物を用いて、医薬品類の生分解性実験を行っている。その結果、沿岸水中の微生物と比較すると下水由来の微生物によって、医薬品類は早く分解されることを示すとともに、不安定な医薬品である ACE、THEO、CAF の分解速度定数を得ている。

第 6 章では、沿岸水中における医薬品類の光分解に関する実験成果をまとめている。光分解には、直接的な分解と溶存有機物が関与する間接的な分解があることが知られている。そこで、実際の沿岸水を用いて、異なる塩分濃度条件で模擬太陽光を照射した分解実験を 5 種の医薬品類を対象として実施している。ACE の光分解速度が最も高く、速度定数が $2.86\sim 3.84\text{day}^{-1}$ であったことを報告している。一方、生分解性が高い CAF は、光分解には耐性があること、難分解性有機物の指標である紫外部吸光度の高い沿岸水では光分解速度がより早くなることを報告している。したがって、沿岸域における医薬品類の光分解に下水二次処理水の影響があることを示唆している。

第 7 章では、既存の 3 次元流動水質モデルに、異なる分解特性を有する ACE、CAF、CTMT の動力学モデルを新たに組み込み、沿岸域における挙動の考察を行っている。異なる降雨に対して、モデル計算結果とモニタリング結果を比較したところ、河川区間では再現性に課題が残されているものの、沿岸域での水質変化をよく再現できることを示している。また、光分解速度定数と下水の流入および流出濃度に関する感度分析の結果、流入および流出濃度は沿岸水の表層水濃度に非常に大きな影響を与える一方、ACE 濃度変化は光分解速度にも敏感であった。しかし、保存性の高い CTMT は二次処理水に含まれることから、降雨後の

水質濃度変化への影響は少なかった。微生物指標だけでなく、異なる分解特性を有する複数の医薬品類をモデル化することで、東京港沿岸域の CS0 に起因する糞便汚染状況を多角的に評価・把握することの意義を考察している。また、お台場海浜公園のような親水空間における糞便汚染を予測するために役立つ可能性も示唆している。

第 8 章では、この研究の結論と今後の展望がまとめられている。

以上のように、本論文は、東京港沿岸域における合流式下水道雨天時越流水に起因する糞便汚染に着目して、降雨後における採水調査を経日的に実施し、微生物指標とともに医薬品類の挙動を調べている。そして、既存の 3 次元流動水質モデルに医薬品類の動力学モデルを追加して、降雨の時空間分布や潮汐条件を考慮しながら、分解特性の異なる医薬品類の沿岸域における挙動の違いを明らかにしている。本論文の成果は、今後の都市環境工学の学術の進展に大きく寄与することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。