

京都大学	博士 (工学)	氏名	山口 武志
論文題目	琵琶湖・淀川水系における河川水中の蛍光性溶存態有機物の動態に及ぼす雨天時下水の簡易指標化に関する研究		

(論文内容の要旨)

気候変動による降雨強度の増加や下水道施設の老朽化の進行により、雨天時に未処理下水が水域に放流される簡易処理放流が発生し、水利用での病原微生物による健康影響が懸念される。本論文は、簡易処理放流の発生を迅速かつ連続的に把握するため、溶存態有機物 (DOM) のうち、蛍光性溶存態有機物 (FDOM) に着目し、水質変換過程でのこれら指標の変化、雨天時の下水処理場や放流先水域での衛生微生物、FDOM の存在実態を把握し、その関係を検討したものである。本論文は以下の7章から成る。

第1章

本論文の研究背景、目的、論文の構成をまとめた。

第2章

雨天時の合流式下水道の越流水や分流式下水道の越流水問題の原因と環境影響、国内外での対応状況を要約し、下水由来と考えられる水系感染微生物の汚染状況に関する知見を整理した。また、雨天時に下水処理場からの簡易処理放流の発生や放流先水域への未処理下水の混入を迅速に検知する必要性を述べるとともに、その指標の候補として、蛍光性溶存態有機物 (FDOM) の可能性について論述した。

第3章

桂川下流にある都市の合流式下水道の下水処理場を対象として、降雨時に放流水、放流先の桂川を現地調査し、大腸菌、大腸菌群、ノロウイルス、大腸菌ファージ、トウガラシ微斑ウイルスといった衛生微生物の存在実態を示すとともに、降雨による衛生微生物の下水処理場からの排出負荷量や桂川の負荷量の変化を把握した。その結果、下水処理場では処理能力を超える雨天時下水の流入により、生物処理を受けない簡易処理放流が発生し、非降雨時と比べ、塩素消毒後にも放流水の衛生微生物の濃度と排出負荷量が大幅に増大することを示した。桂川での衛生微生物濃度は、簡易処理放流により非降雨時の濃度よりも大幅に上昇した。下水処理場からの排出負荷量と桂川の下水処理場の放流口よりも上流地点と下流地点での衛生微生物の負荷量の変化を検討した。その結果、下水処理場からの排出負荷量が、下流地点での負荷量の上昇に寄与しているが、下水処理場の排出負荷量の寄与だけでは説明できなかった。このことは、桂川の上下流地点の間で、この下水処理場以外に流入する排出負荷源があり、合流式下水道の雨水吐などの存在が示唆された。

第4章

生物処理水、最初沈殿池越流水、河川水の混合率を変化させることで、模擬的な雨天時下水や下流の河川水を作成した。これらを用いて、生物処理過程、凝集処理過程や河川での希釈過程による FDOM の水質変化特性を実験的に把握した。模擬雨天時下水について、生物処理過程、凝集処理過程や河川水との混合過程で、溶存有機物 (DOC) 濃度に対する、3次元励起・蛍光マトリクス (EEM) 法のタンパク質様成分、陸域由来フミン

様成分の FDOM の経時変化を明らかにした。この結果から、雨天時下水の FDOM は、生物処理過程でタンパク質様成分が、凝集処理過程で陸域由来フミン様成分が、河川水との混合過程でタンパク質様成分が、著しく時間変化することが想定された。そのため、これらの FDOM に関する指標は、処理過程の履歴や放流先での簡易処理放流水の混入を示すことが示唆された。

第 5 章

合流式下水道、分流式下水道を含む 3 箇所の下水处理場を対象に、雨天時に生物処理過程、凝集処理過程における FDOM や衛生微生物の水質変化特性を現地調査した。その結果、雨天時に生物処理水に簡易処理水が混入した場合、分流式下水道ではタンパク質様の FDOM 成分のうちトリプトファン様の FDOM 成分が、下水混入の履歴を示す指標として有効であった。合流式下水道ではトリプトファン様の FDOM 成分は、簡易処理水の混入を示す指標としては有効ではなかったが、簡易処理水の混入時にその値が時間変化することが明らかになった。またトリプトファン様の FDOM 成分は、分流式下水道、合流式下水道ともに、生物処理過程の履歴を示す指標として有効であった。陸域由来フミン様の FDOM 成分は、凝集処理過程の履歴を示す指標として有効であることが確認された。

第 6 章

第 4 章で有効性が示唆されたタンパク質様成分の FDOM の指標が、下水処理場からの簡易処理放流の発生時に、実際の河川水で検出できるか検討した。下水処理場の放流水の混入率が大きい桂川の場合には、下水処理場の下流河川水からタンパク質様の FDOM 成分の変化を検出することができた。しかし、下水処理場からの放流水の混入率が小さい琵琶湖の流出河川である瀬田川の場合には、下水処理場からの簡易処理放流が発生した時に、タンパク質様の FDOM 成分の時間変化を検出することはできなかった。したがって、河川に占める流量割合が大きな下水処理場では、下流河川でのタンパク質様の FDOM 成分の変化を監視することで、簡易処理放流の発生を検出し、それに伴う衛生微生物の迅速かつ連続的に検出できる可能性がある。今後、この手法が適用できる下水処理場放流水と河川水の流量比率の範囲を明らかにする必要がある。

第 7 章

論文の結論である。本論文で得られた成果をまとめ、今後の成果の活用、課題について述べた。

(論文審査の結果の要旨)

気候変動による降雨強度の増加や下水道施設の老朽化の進行により、雨天時に未処理下水が水域に放流される簡易処理放流が発生し、水利用での病原微生物による健康影響の発生が懸念される。本論文は、簡易処理放流の発生を迅速かつ連続的に把握するため、溶存態有機物 (DOM) のうち、蛍光性溶存態有機物 (FDOM) に着目し、水質変換過程でのこれら指標の変化、雨天時の下水処理場や放流先水域での衛生微生物、DOM、FDOM の存在実態を把握し、その関係を検討したものである。

1. 合流式下水道や分流式下水道での雨天時に発生した簡易処理放流により、下水処理場の放流水および放流先水域での衛生微生物、DOM、FDOM 等の水質の同時観測を、わが国で初めて詳細に行った。簡易処理放流の発生によって、下水処理場放流水の衛生微生物の存在濃度は、非降雨時の放流水に比べ大きく上昇すること、放流先河川でも雨天時に衛生微生物の濃度も上昇するが、下水処理場と河川での負荷量収支から、下水処理場からの放流水以外に、対象河川区間で合流式吐口などの負荷源があることが示唆された。
2. 雨天時下水を模擬的に、最初沈殿池越流水、生物処理水と河川水の混合率を変えて設定した。この模擬雨天時下水を用いて、生物処理過程、凝集処理過程、放流先水域の河川での希釈過程を実験室で再現させ、FDOM の変化を把握した結果、下水中のタンパク質様やフミン様の FDOM 成分が、下水処理場からの放流水や河川水での簡易処理水の混入を示す指標として有力であることが示唆された。
3. 雨天時に下水処理場で生物処理過程や凝集処理過程による FDOM や衛生微生物等の水質変化を調査した結果、タンパク質様の FDOM 成分がトリプトファン様成分とチロシン様成分に分離された。特にトリプトファン様成分は、分流式下水処理場からの放流水への簡易処理水の混入の指標として利用でき、合流式下水処理場でもその値の時間変化が簡易処理水の混入を示す指標として利用できることが示された。
4. 下水処理放流水の混入率が相対的に大きい桂川と混入率が相対的に低い瀬田川の河川水で、降雨時での FDOM や衛生微生物等の水質変化を調べた結果、混入率が高い桂川の場合は、タンパク質様成分の測定によって、河川水への簡易処理水の混入を迅速かつ連続的に検知できる可能性があることが明らかとなったが、混入率が低い瀬田川の場合は、簡易処理水の混入の検出は不可能であった。

以上、本論文は、下水処理場での簡易処理放流による衛生微生物と DOM、FDOM の存在実態と変化を現地観測と実験により把握し、指標性を議論したもので、本成果は工学的価値が大きいと判断され、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。また、令和 3 年 2 月 2 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。