

## 学位論文題名

高度処理との連携による湖沼の水質改善と  
水質評価方法に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、水資源の世界的な不足が予想されるようになり、淡水資源の有効的な活用が重要視されてきている。特に水の需要は都市域に集中するため、都市近郊の湖沼は都市域の生活用水や環境用水などの淡水資源として大きな可能性を持っている。一方で、日本国内では、都市域において下水道の整備が進み、都市内の水環境は改善されつつあるが、放流先の河川や湖沼には栄養塩類や有機物等の汚染物質が流入し、富栄養化などの閉鎖性水域特有の問題が生じている。そのため、淡水資源としての潜在性を持っている都市近郊の湖沼水や河川水を利用するには適切な水処理が必要となっている。

そこで本研究では、典型的な都市近郊の湖沼である茨戸湖をケーススタディとして、茨戸湖への流入河川水を凝集沈殿処理後、処理水を貯水槽に長期間貯留する、「凝集沈殿処理による高度処理と貯水池の自浄作用とを連携させた処理」を行い、望ましい親水空間の創出の可能性や再利用水水源としての可能性を検討した。また、三次元励起・蛍光スペクトルによる新しい溶存有機物の分類、定量方法を確立し、処理効果や貯留水の水質改善を評価した。一方、衛生的安全性の観点から一般的には再利用水や下水処理水を塩素消毒している。これに伴って生成する消毒副生成物による、利用者や水圏生態系に与える影響が近年懸念されている。そこで、湖水を再利用する際の塩素消毒時に生成する消毒副生成物生成量を予測するために、三次元励起・蛍光スペクトルによる蛍光強度とフルボ酸濃度および親水性有機物濃度を説明変数とした予測式を提案し、再生水中の消毒副生成物生成量を推定し、安全性について考察している。

本論文は全7章から構成されており、以下に各章の概要を略述する。

第1章は現在の水の需要と供給の状況、および水源地の状況を国外、国内両面から説明した。また、水の再利用について、利点や問題点、処理技術を紹介し、本論文の意義を示すと共に、本論文の目的と構成を示している。

第2章は下水処理水や排水など、一度使用した水の再利用を目的に、凝集沈殿処理による高度処理と貯水池の自浄作用とを連携させた浄化システムを提案している。ケーススタディとして、下水二次処理水を多量に含む河川水が流入する茨戸湖を有する札幌市の水環境を研究対象として取り上げた。

最初に Vollenweider のリン負荷モデルを用いて茨戸湖の富栄養化の現況と高度処理導入

後の栄養状態を予測し、高度処理が茨戸湖の水質改善に有効であることを明らかにしている。次に、茨戸湖に流入する河川水を凝集沈殿処理した処理水を約 650L の貯水槽に長期間貯留することによって、AGP 試験から予測される藻類増殖量よりも低い値に制御でき、また BOD 値を河川の AA 類型まで低下できるなど、湖沼の自浄作用によって再利用可能な水質に向上させることができることを明らかにしている。また、高度処理を導入することによって、湖底へのリンの堆積量を大幅に削減できることから、富栄養化の進行を制御できることを明らかにしている。

第 3 章は三次元励起・蛍光スペクトル法を新しい水質評価方法として確立している。まず、下水二次処理水、清澄な河川水、都市近郊の湖沼水および泥炭地にある湖沼水の三次元励起・蛍光スペクトルを測定し、スペクトルのピーク波長域に基づいて溶存有機物を初めて系統的に分類している。次に、電気伝導度などの水質因子が蛍光強度に影響を与えるか否か検討している。また、本法により分類される溶存有機物の親水性や分子量分布、あるいは由来を明確にして、三次元励起・蛍光スペクトル法が溶存有機物の分類・定量に有効な水質評価法であり、特に環境水中のフルボ酸濃度を蛍光強度から高い精度で推定できることを初めて明らかにしている。

第 4 章は、水の再利用プロセスや湖水の改善に利用される凝集沈殿処理プロセスの処理特性を三次元励起・蛍光スペクトル法で評価している。最初にジャーテストにより凝集沈殿処理し、処理前後の試料水のピーク波長域と蛍光強度の吸光係数の変化を検討することで、凝集剤中の金属原子と溶存有機物の結合によるクエンチング(蛍光強度の消光)を検討し、クエンチングの影響を受けずに水質評価ができることを確認している。この結果を利用して、三次元励起・蛍光スペクトル法が、凝集沈殿処理による溶存有機物の除去効果の評価に有効に利用できることを明らかにしている。

第 5 章は、再利用水や排出される下水二次処理水に含まれる消毒副生成物生成量を予測するための予測式を提案している。最初に、ろ過した下水二次処理水および湖水に、二通りの塩素添加濃度(上水試験法で定められている 24 時間接触後、遊離残留塩素濃度が 1mg/l になる添加濃度および再利用水で一般的に添加されると考えられる、24 時間接触後、残留塩素濃度が 0.2~0.4mg/l になる塩素添加濃度)で塩素を添加し、塩素添加する水の各溶存有機物の蛍光強度と消毒副生成物(総トリハロメタン、ハロ酢酸、ハロアセトニトリル、抱水クロラル)の生成量との定性・定量的関係を明らかにしている。同様に、下水二次処理水や湖水を凝集沈殿処理した処理水に関しても実験を行っている。そしてこの実験結果に基づいて、蛍光強度とフルボ酸濃度および親水性有機物濃度を説明変数として、消毒副生成物生成量の予測式を重回帰分析から導いている。

第 6 章は、下水二次処理水や富栄養化した湖沼水を凝集沈殿処理により高度処理した後、貯水槽に貯留させて自然の浄化作用を利用したプロセスで得られる貯留水が、再利用可能な水質であるかどうかを検討している。水質項目としては、現行の雑用水水質基準項目だけでなく、新たに、第 5 章の予測式から求めた消毒副生成物生成量も考慮し、消毒副生成物生成量の面からの再利用水の使用可能性を検討し、その利用方法を提案している。

第 7 章は、本論文で得られた知見を要約している。

水池に発生する藻類量を AGP 値から予測される値より低い値に制御できることを明確に示し、貯水池の自浄能力によって再利用可能な水質の改善が可能であることを明らかにしている。また、高度処理を導入することによって湖底へのリンの堆積量を大幅に削減できることから、富栄養化の進行を抑制できることを明らかにしている。

第 3 章では新しい水質評価方法として三次元励起・蛍光スペクトル分析法を提案し、スペクトルのピーク波長に基づいて溶存有機物を系統的に分類する方法を確立するとともに、蛍光強度から定量分析が可能であることを示している。特に環境水中のフルボ酸濃度は高い精度で定量できることを明らかにしている。

第 4 章では三次元励起・蛍光スペクトル分析法が金属原子等によるクエンチング(蛍光強度の消光)現象の影響を受けずに水質評価できることを確認し、本分析法を用いて、凝集沈殿法などによる水処理プロセスの有機物除去特性を明らかにしている。

第 5 章では溶存有機物の蛍光強度と塩素消毒副生成物(総トリハロメタン、ハロ酢酸、ハロアセトニトリル、抱水クロラール)の生成量との関係を定性的および定量的に解析している。その解析結果に基づいて、蛍光強度、フルボ酸濃度および親水性有機物濃度を説明変数とする重回帰分析を行い、消毒副生成物生成量を推定している。

第 6 章では本研究において提案した高度処理と貯水池の自浄作用とを連携させた処理システムによって得られる清澄水の再利用の可能性を現行の雑用水水質基準項目および第 5 章の予測式から求めた消毒副生成物生成量に基づいて検討し、その利用方法を提案している。

第 7 章は総括であり、本論文で得られた成果を要約したものである。

これを要するには、著者は、都市域における水環境に対して、高度処理を導入することにより、自浄能力が強化され、水質の改善および水の再利用が可能になることを明らかにするとともに、三次元励起・蛍光スペクトル分析法が環境水や再利用水等の水質評価方法として適用できること等多くの新知見を得ており、水環境工学ならびに水質保全工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。