

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名      タババッタバハドゥール  
Thapa Phatta Bahadur

本論文では、貯水池における自然由来有機物 (NOM) の濃度や組成の季節変化や空間変化をモニタリングしたり、水処理プロセスにおける NOM の挙動を評価したりするために、NOM の濃縮方法、特性の評価方法を系統的に検討している。そして、その手法をいくつかの貯水池や湖沼の試料に適用するだけでなく、それらの試料の酸化処理前後における NOM の組成や構造変化について多角的な評価を試みることを具体的な目標として設定している。また、貯水池の潜在的な有機物溶出発生源となる底泥を対象に、嫌気及び好気条件での溶出有機物についてその特性を評価・検討したものである。論文は、9章より構成されている。

第1章では、研究の背景と目的および論文構成について述べている。

第2章では、飲料水水質成分としての NOM 問題、NOM の分析や濃縮方法、さらにはその特性評価に関する従来の基礎的な知見を整理している。

第3章では、本研究において、対象とした貯水池や湖沼の概要を述べるとともに、現場での採水地点や採水・採泥方法、採取した試料の水質や底質の分析方法、試料の濃縮方法や凍結乾燥方法の基礎を整理している。

第4章では、まず、有機物濃度が低い試料から NOM を濃縮する方法を二つ検討した結果を説明している。RO 膜による濃縮法および凍結乾燥・再溶解による濃縮法のいずれにおいても DOC 回収率として 90%以上を達成しており、有効な濃縮法を提案している。また、NOM の特性評価のために用いた主な手法として、分子量分画クロマトグラフィー (SEC)、熱分解 GC/MS、蛍光励起発光マトリックス (EEM) 分光測定法について説明している。特に、分子量分画手法においては、異なるゲルろ過カラム、溶離液、校正用の標準物質、分析条件を検討することにより、NOM の分子量特性を評価するための SEC の諸条件を最適化している。熱分解 GC/MS 分析については、湖水の溶存有機物にとって適当な分析条件を検討した。得られる熱分解パイログラムパターンと標準物質のパターンを比較したり、多数の文献におけるパイログラムデータを総合的に整理することを通じて、NOM の組成解析が行える手法を提案している。

第5章では、第4章で示した分析手法を組み合わせることで、津久井湖、霞ヶ浦、印旛沼における NOM の特性や季節変動を1年にわたって調査した結果を報告している。すべての試料の NOM 分子量分布が比較的狭い範囲に入ることを示した。また、津久井湖の THMFP は、DOC よりも 260nm における紫外外部吸光度 (UVA260) や位 DOC 重量当りの UVA260 (SUVA) と

良好な相関を示すことや、湖水とその流入河川である道志川の NOM を熱分解 GC/MS で解析した結果、河川に存在するいくつかの高分子量の物質が湖内で消滅するのに対して、湖水は水域で発生したタンパク質様物質を多く含むことなどを明らかにしている。

一方、浅く富栄養湖である霞ヶ浦においては、山地に位置する津久井湖に比べておよそ 4 倍近い DOC 濃度と THMFP を観測した。そして、DOC と UVA<sub>260</sub> の空間パターンを解析した結果、藻類生産など湖内での有機物生産が、微生物による分解による消失よりも有機物組成に影響が大きいことを明らかにしている。また、水圏起源の有機物は、陸圏起源の有機物に比べて、UVA<sub>260</sub> 成分が少ないことも示唆している。同時に、霞ヶ浦湖水中における NOM の特性の季節変化、空間変化を、熱分解 GC/MS 分析から得られるパイログラムに関する非類似度分析により検討可能であることを示した。

第 6 章では、津久井湖と霞ヶ浦の試料について高度酸化 (AOP) 処理を行なったところ、UVA<sub>260</sub> は 50%以上減少したにもかかわらず、DOC と THMFP は高いオゾン注入量であっても有意な減少が見られなかったことを示している。塩素処理でも、UVA<sub>260</sub> と蛍光強度が著しく減少すること、分子量が 3%ほど低下すること、有機物構造としてはベンゼン誘導体が相対的に減少し、脂肪族化合物やタンパク質様化合物が増加することなどを示した。

第 7 章では、好気および嫌気条件下における底泥からの DOM や THM 前駆物質の溶出潜在力を評価している。好気および嫌気条件下での溶出有機物組成の違いを、熱分解 GC/MS 分析により比較したところ、好気条件下では硫黄含有化合物、嫌気条件下では polyhydroxy aromatics や脂質、リグニンの存在が特徴的であることを明らかにしている。また、嫌気条件下では、好気条件下の 3 倍近い有機物の見かけの溶出量が確認され、そしてそれに伴う THM 生成能の増加を指摘している。溶出有機物と同時に底泥自体について熱分解パイログラムを得ることは、底泥起源有機物の生物分解の影響を考察するのに非常に有効であることを報告している。

第 8 章では、熱分解 GC/MS 分析結果から、対象とした 3 つの水源すべてにおいて人為汚染物質と疑われる 2-エチルヘキサノール (2-ethyl-1-hexanol) 及びノニルフェノール (nonylphenol) の存在を確認し、霞ヶ浦では、さらにジエチレングリコール (diethylene glycol) による汚染もあることを報告している。このような低濃度で存在する微量有機物のモニタリングにおいて、凍結乾燥試料の熱分解 GC/MS 分析が比較的簡易で有効な手法であることを示唆している。

第 9 章では、上記の研究成果から導かれる結論と貯水池など水道水源の NOM 特性評価における今後の課題や展望が述べられている。

以上の成果は、水道水源として重要な貯水池や湖沼における溶存有機物の特性をモニタリングし、飲料水水質の観点から評価する上で非常に有用な手法を提案しているだけでなく、その手法による調査データとして、溶存有機物の分子量や化学構造の変化を体系的な知見として整理しており、都市環境工学の学術の進展に大きく寄与するものである。

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。