

## 審査の結果の要旨

氏名 ド トゥアン アン

ド・トゥアン・アン氏は、「Integrated Water Management in Hanoi for Adaptation to Urbanization and Climate Change (ハノイの都市化と気候変動に適応するための総合的水管理)」と題する博士論文の中で、人口が急増するハノイ市において、気候変動の影響を含めた将来の水供給の課題を明らかにした。ハノイ市の人口は 2010年から 2025 年の 15 年間で倍増することが予測されており、それにより水需要も急増が予測されている。また、現在は水源の多くを地下水に依存しているものの、地下水からはヒ素、アンモニア、溶存有機物などの汚染物質が検出されている。本研究は、将来の人口増加等の課題を見据えたハノイ市の水供給の方策を検討するために行われた。

第 1 章は、「はじめに」であり、研究の背景、目的、論文の構成が記載されている。研究の目的は以下の 3 項目である。

- 1) ハノイ市の水環境（水源）と飲料水中の化学物質と微生物による汚染の状況を把握することと水利用と使用位置（家庭）での浄化装置（POU）の利用状況を把握すること、
- 3) 気候変動を踏まえた、将来のハノイ市の水需要の変化を推定し、需要増加に適応した総合的な水供給方法を提案すること

第 2 章は、文献調査であり、本研究に関連する既存の文献を報告した。

第 3 章は、研究方法であり、調査対象地域の説明、サンプル数とサンプリング方法、水質分析の方法などが記載されている。POU の使用状況調査は、2012 年と 2013 年にかけて、ハノイ市内の 5 つの調査対象地区において、239 軒の家庭から質問票と調査員による口頭質問によって行われた。家庭での POU による処理機能を把握するため、水質分析については、334 のサンプルが、9 つの調査対象地区の 35 の家庭から採取された。また、水源環境の水質分析のため、下水、下水処理水、河川水、井戸水、水道水、ボトル水などから採水し、化学的な水

質に加えて、大腸菌、大腸菌群などの指標を測定した。また、このうち 38 サンプルについては、アデノウイルス、ノロウイルスなどの腸管系ウイルスを測定した。

第 4 章では、水道水源および飲料水の水質測定結果を報告した。地下水からは、平均 69 $\mu\text{g/L}$ 、最大 305 $\mu\text{g/L}$  のヒ素が検出され、サンプルの 84%が飲料水基準である 10 $\mu\text{g/L}$  を超過していた。また、鉄、有機物、アンモニア、微生物濃度も高かった。大腸菌は、地下水の 6%、水道水の 21%、ボトル水の 11%から検出され、水道水の汚染が高かった。これには、水道水の残留塩素が最大 0.16 $\text{mg/L}$  と低く、配水過程や家庭内での汚染が推定された。

下水からは、アデノウイルスやノロウイルスなどの腸管系ウイルスが検出された。また、下水処理水や、池の水、河川水などからもこれらのウイルスが検出された。しかし、地下水中からの検出率は 2/8 と低く、濃度も低かった。

第 5 章は、家庭での飲料水水質と POU 装置の利用状況についての調査結果を記載した。家庭での POU 装置利用の背景には、水道や地下水水質に対する不安があった。都市部では 76%の家庭が、農村部では 18%の家庭が POU 装置を利用しており、都市部での POU 利用の割合が高かった。この背景には、世帯収入の違いや、水質に関する関心の違いがあることが推定された。調査した POU の 58%が逆浸透膜 (RO 膜) であり、過半を占めていた。市場調査から、ハノイ市では 136 種類の POU 装置が販売されており、処理性能はプロセスごとに異なっていることが明らかとなった。ヒ素除去性能については、RO 装置が除去率 90%以上と最も高く、水道水質基準の 10 $\mu\text{g/L}$  以下まで除去することができた。次いで、砂ろ過により地下水中のヒ素が平均 67%除去された。砂ろ過によるヒ素除去率が高い理由は、ハノイ市では地下水中の Fe/As 比が高いためであることが確認できた。しかし、RO 膜と砂ろ過以外の POU 装置、即ち、セラミック膜ろ過、イオン交換、精密ろ過などの装置は、ヒ素を除去することができなかった。

第 6 章は、気候変動のもとで、異なるシナリオを設定して水需要を予測した。将来の人口増加による水需要の増加は、ハノイ市の水供給マスタープランをもとに、人口増加率がより高い場合と低い場合シナリオを加えて、一人あたりの水需要、事業用水などを勘案し、東南アジアの他都市を参考にして推定した。その結果、気候変動による温暖化は、ハノイ市の水需要を 2050 年に 0.7%押し上げ、また、RO 膜を用いた POU 装置は、2050 年の水需要を約 3.8%押し上げることが推定された。その一方で、水需要管理などの総合的な対策により、2050 年の水需要を 8.0%から 10.5%削減できることが推定された。これらの対策を合

わせて行うとともに、POU 装置などを利用して、安全な地下水利用を推進することが、将来の水需要増大に対する対策として重要であることが示された。

第 7 章は、結論で、本論文の主要な結論を記述した。

本論文の研究成果は、将来のハノイ市の水供給計画において重要な示唆を含むとともに、水質の現状や、POU 処理の性能など、新規性があり今後の研究の参考となる重要な成果である。

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。