

氏名(本籍)	李 盛 源 (韓 国)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博 甲 第 6480 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	<b>Integration of Natural Attenuation and Artificial Remediation for Management of Nitrate Contamination in Groundwater Flow System at Tsukuba Upland, Central Japan</b> (筑波台地の地下水流動系における硝酸性窒素汚染を浄化するための自然および人工的手法の統合)
主査	筑波大学教授 博士(理学) 辻 村 真 貴
副査	筑波大学教授 理学博士 杉 田 倫 明
副査	筑波大学准教授 博士(理学) 山 中 勤
副査	筑波大学名誉教授 理学博士 田 瀬 則 雄

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

地下水の硝酸汚染は、都市域、農村域等様々な土地条件のもとで、深刻な環境問題であるが、地下水水文学的循環系に基づく自然浄化機能と、人工浄化手法とを統合した原位置浄化については、これまで十分な研究が行われてこなかった。本論文は、台地縁辺部の住宅地、畑地、水田等の土地被覆からなる傾斜地を対象に、地形的要因および地質的要因で生ずる自然浄化と、浄化壁による人為的浄化とを併用することにより、どの程度の硝酸汚染浄化機能が発現するかを検証したものである。

筑波台地縁辺部の農村地域では、台地部に住宅地、傾斜地に畑地、河川近傍に水田という土地利用形態が一般的にみられる。こうした場所では、住宅地や畑地における家畜や施肥由来の硝酸による地下水汚染が生じやすい。当地域において実施した地下水水文観測および無機溶存成分、同位体分析・解析等により、台地から河川に向かう地下水流動系が確認されるとともに、住宅地および畑地直下の浅い地下水において、比較的高濃度の硝酸イオン濃度が観測され、窒素安定同位体比の解析により、これらは各々、家畜の糞尿、および施肥に由来するものと同定された。浅層地下水における高濃度硝酸帯は、台地部の深部に存在する粘土層と、低地部の地下水流出域において、顕著にその濃度が低下することが確認された。台地深部の粘土層および地下水流出域とともに、嫌氣的条件下にあることから、脱窒による硝酸汚染の自然的浄化が生じているものと解析された。

このように自然浄化が生ずる地下水流動経路は、McClain (2003) で提唱されている hot path に相当し、台地部の粘土層帯および低地部の地下水流出域が hot zone に相当するものであると判断された。一方、台地部で涵養され粘土層を通過せずに深部浸透した後、直接河川に流出する地下水流動系も存在し、この経路による地下水は比較的高濃度の硝酸を維持することが観測された。このような流動系は、自然浄化の生じない cold path に相当するものと判断された。

以上のような自然浄化の生ずる流動経路 (hot path) と生じない流動経路 (cold path) とからなる地下水

流動系を考慮し、cold path の上流側に透水性浄化壁を設置し、人為的な浄化を併用する原位置試験を実施した。その結果、透水性浄化壁を設置して約 100 日後には、浄化壁上流側で 159 mg/L と高濃度であった硝酸が、浄化壁内部において 0.5 mg/L まで低下していることが確認され、この濃度低下は 300 日以上にわたり継続した。浄化壁設置後約 400 日の時点で、浄化壁上流側において硝酸濃度 150 mg/L が、また下流側において 62 mg/L が観測され、約 4 m の地下水流下にともない 59% の硝酸が浄化されることが確認された。このことは、透水性浄化壁の効果が、この時点において少なくとも地下水流動経路に沿い 4 m に及んでいることを示唆している。

以上の結果から、自然浄化の生じない cold path 上流側に透水性浄化壁を設置することにより、人為的な硝酸汚染の浄化を効果的に生じさせることが可能であることが示された。すなわち、対象地域の地下水流動系、および自然の浄化域を通過する流動経路 (hot path) と浄化が生じない経路 (cold path) を正確に把握することが重要であり、cold path の上流側に透水性浄化壁を設置することにより、cold path を hot path に変換できる可能性があることも示唆された。

また台地上部から傾斜部にかけての住宅地および畑地、低地部の水田という土地利用形態は、比高の小さな台地と低地の境界では比較的よくみられるものであり、本論文における地下水硝酸汚染に対する自然浄化と人為浄化の統合的アプローチの考え方は、他の地域にも適用が可能であると判断された。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

地下水の硝酸汚染という重要な環境問題を取りあげ、地下水流動系を詳細な水文学的観測等により明らかにし、自然浄化域の生ずる地点と生じない地点とを特定した上で、透水性浄化壁という人為的手法を併用し、浄化能力を検証したことは、当該研究分野に新たな知見を加えたものとして、高く評価される。

我が国の農村地域に典型的な土地被覆形態のフィールドにおいて、地下水流動プロセスと硝酸汚染のブルームをこれだけ明確に、観測データに基づき示した研究は、これまでなかった。また、自然浄化の生ずる領域が、谷部の湿地帯だけでなく、地質条件による有機質粘土層にもあることを示したことは、従来の硝酸汚染自然浄化研究に、新たな知見を加えたことになる。

さらに、地下水流動プロセスがここまで詳細に解明されたフィールドにおいて、透水性浄化壁が適用された例は、国際的にみても初めてであろう。一方、応用的観点からすると、透水性浄化壁はコストの問題が従来指摘されている。本論文のように、地下水流動系が水文科学的に解明された上で、最適な場所に浄化壁を設置することができれば、大幅なコスト削減が見込まれ、当該方法の普及にも寄与するものである。

また単に濃度低下を確認したのみではなく、自然浄化と人工浄化の両方について、浄化量を評価した点は、学術的に評価される。さらに、浄化壁周辺の溶存成分等解析により、浄化壁が少なくとも数年は効果が持続することを明らかにしたことも、応用的観点から評価される。

平成 25 年 1 月 28 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。