

氏名	ワニアーラッチ WANNIARACHCHI	カンカーナムゲ KANKANAMGE	チャンドラーニ CHANDRANI	ニーター NEETHA	ダヤンチ DAYANTHI
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)				
学位記番号	工 博 第 2851 号				
学位授与の日付	平成 19 年 9 月 25 日				
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当				
研究科・専攻	工 学 研 究 科 都 市 環 境 工 学 専 攻				
学位論文題目	ANALYSIS OF NITROGEN DYNAMICS IN SOIL COLUMNS TO EVALUATE NITRATE POLLUTION DUE TO RECLAIMED WASTEWATER IRRIGATION (下水再生水の灌漑利用による硝酸汚染評価のための土壌カラム中の窒素動態 の解析)				
論文調査委員	(主 査) 教 授 田 中 宏 明	教 授 藤 井 滋 穂	教 授 清 水 芳 久		

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、アンモニア性窒素を高濃度に含む下水再生水の畑地灌漑が行われる際の環境影響評価を行うため、土壌カラム実験をおこない、不飽和土壌での窒素動態メカニズムを解明するとともに、数理モデルを用いた濃度推定を行い、地下水の硝酸汚染の低減方法を提案した一連の研究であり、7章からなっている。

第1章は序論であり、研究背景と本研究の目的と論文の構成を述べている。

第2章では沖縄での農業と都市への下水再生水利用のケーススタディをおこなっている。下水再生水による灌漑利用による土壌地下水汚染の調査のため、ライシメータを用いた実験が行われているが、ライシメータ実験では、土壌からの窒素溶出の影響を受け、下水再生水の影響を評価できないことが明らかとなった。そこで、下水再生水の窒素挙動を評価するため、土壌カラム実験を行う必要があることが明らかとなった。

第3章ではジャーガル土壌を用いた実験について記載している。人工下水再生水を用いて、120日間連続および間欠的に散水した土壌カラム実験を行った。次に、降雨を想定した下水再生水の灌漑の影響を把握するため、人工降雨実験を行った。散水したアンモニア性窒素は18mg/Lであったが、連続および間欠散水とも浸透水は3.5mg/Lを超えることはなかった。間欠散水の場合、すべての間隙水および浸透水の硝酸性窒素は次第に増加し、ほぼ一定の値となった。連続散水の場合、すべての間隙水および浸透水の硝酸性窒素は次第に増加し、一旦最大となったあと低下し、ほぼ一定の値となった。さらに浸透水の硝酸性窒素の $\delta^{15}\text{N}\%$ は30から50に増加したが、硝酸性窒素は低下し始めた。散水された総窒素の総量のうち、連続および間欠散水では、41.5%と13.0%が気相に移行したと見積もられたことから、ジャーガル土壌では、連続散水では間欠散水と比べ、脱窒が促進されることが明らかとなった。さらに、硝酸性窒素の同位体比の変化を把握することが、土壌中の窒素挙動を理解する有効なツールとなることが明らかとなった。定常状態では間欠散水より連続散水の方が地下水への硝酸性窒素の移行を抑制することができることが示された。また、人工降水実験からは、土壌に集積している硝酸性窒素は降雨によって溶出が促進されることが確認された。バッチ吸着実験からはフロインドリッヒ吸着等温式が求められ、アンモニア性窒素の土壌吸着は短時間に起こることが明らかとなった。

第4章では、鳥尻マーグ土壌を用いた土壌カラムへの連続的、間欠的な人工下水再生水散水実験を150日間行った。人工下水再生水のアンモニア性窒素が18mg/Lであるにもかかわらず、すべての間隙水、浸透水ともにアンモニア性窒素濃度が3.5mg/Lを超えることはなかった。鳥尻マーグ土壌では硝酸性窒素の挙動は、ジャーガル土壌とは大きく異なっていた。物質収支から人工下水再生水の総窒素の総量のうち、連続散水では30%が、間欠散水では2.1%が気相に移行することが推定された。炭素収支からは、土壌水中の溶解性炭素が脱窒に使われていると考えられた。この結果から、連続散水のほうが間欠散水よりも脱窒が促進されることが明らかとなった。土壌吸着のバッチ実験から吸着等温線を推定したが、線形な関係か

らは大きくはずれておらず、アンモニアの土壤吸着は短時間で起こり、鳥尻マーヅ土壤の吸着能よりもジャーガル土壤の吸着能の方が大きいことが明らかとなった。

第5章は2種類の土壤の窒素動態の定量的解析である。ジャーガル土壤と鳥尻マーヅ土壤を用いた連続散水実験でのアンモニアと硝酸の動態を簡単な解析モデルで明らかにした。アンモニア性窒素と硝酸性窒素の移流、拡散、吸着、生物作用による物質変化を考慮した物質収支を組み合わせたモデルを作成した。コンピュータプログラムと統計的手法を使って、多くのパラメータを組み合わせて硝酸性窒素をシミュレートし、モデルパラメータを最適化させた。モデルの推定値は実測値と一致し、プロファイルも再現できたため、下水再生水に由来する窒素の地下水への溶出量が推定できる。

第6章は、これまでの結果を踏まえて沖縄での下水再生水に含まれる窒素による硝酸汚染を未然に防止するための考察を行った。これまでの結果から硝酸の地下水への移行量は浸透水の流下速度が大きく影響することが明らかになった。また、間欠散水よりも連続散水の方が、硝酸による地下水汚染を抑制でき望ましいことが明らかとなった。したがって、下水再生水は連続的なドリップ散水を温室で行うことで硝酸汚染をかなり削減できると考えられる。開発したモデルで予測すると、鳥尻マーヅ土壤の場合には硝酸性窒素が水道水の基準である10mg/Lを上回るが、ジャーガル土壤の場合にはその基準値を超えることはない想定される結果となった。鳥尻マーヅ土壤では、硝酸濃度を下げたため、下水再生水と他の水資源との混合希釈や、下水再生水の窒素除去をおこなうとともに、温室を使って、散水期間を短期間にするなど工夫することが考えられる。

第7章は、まとめと結論である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、アンモニア性窒素を高濃度を含む下水再生水の畑地灌漑が行われる際の環境影響評価を行うため、土壤カラム実験を行い、不飽和土壤での窒素動態メカニズムを解明するとともに、数理モデルを用いた濃度推定を行い、地下水の硝酸汚染の低減方法を提案した一連の研究であり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 人工下水再生水を用いて、長期間の連続および間欠的散水方法による土壤の間隙水と浸透水を採取できる土壤カラム実験方法を開発した。
2. 畑地灌漑が計画されている沖縄本島南部の代表的土壤2種類を用いて、不飽和土壤での下水再生水に含まれる窒素動態を明らかにした。この結果、2種類の土壤とも下水再生水に含まれていた高濃度のアンモニア性窒素は、表層で硝化され、アンモニア性窒素は、浸透水、間隙水とも大幅に低減することを明らかにした。しかし、新たに生成する硝酸性窒素の動態は、土壤の種類と散水方法によって大きく異なり、アンモニア性窒素の吸着能が高いジャーガル土壤で連続散水する場合、硝酸性窒素濃度が一度大幅に高くなり、その後低下して一定の値に落ち着くが、その他の場合は、硝酸性窒素濃度が次第に上昇し、一定の値となることを明らかとした。
3. 土壤カラムでの窒素収支を把握したところ、下水再生水に含まれる窒素が脱窒していること、散水方法によって脱窒量は異なることを明らかにした。この結果、下水再生水を連続散水する方が、間欠的に行うより、地下水への硝酸移行量を大きく削減でき、連続的なドリップ散水を行うことが下水再生水による硝酸汚染を低減することに有効であることを明らかとした。
4. 吸着、硝化、脱窒が複雑に生じている土壤カラムでは、窒素同位体比を測定することにより、硝化、脱窒を確認することに有効であることを明らかとした。
5. 下水再生水に由来する窒素が不飽和土壤から地下水に移行する濃度を推定するための簡易な数理モデルを開発した結果、実測値と概ね一致し、現地で計画される灌漑条件での地下水へ移行する下水再生水由来の硝酸性窒素濃度を評価した。

以上要するに、本論文は畑地灌漑利用を目的とした下水再生水に見出される窒素による不飽和土壤を経由した地下水汚染の評価方法を検討し、土壤カラム実験を行い、モデル化し、硝酸汚染の低減方法を提言したものであって、その成果は、学術上、実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あるものと認める。また、平成19年8月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。