

嶋田 純

熊本大学大学院自然科学研究科
教授

地域水循環機構を踏まえた地下水持続利用システムの構築

§ 1. 研究実施体制

(1) 「水循環機構・構造の実態解明」グループ

① 研究分担グループ長: 嶋田 純 (熊本大学大学院自然科学研究科、教授) (研究代表者)

② 研究項目

- ・地下水涵養・流動機構の解明とモデルの開発と島嶼地域への適応
- ・3次元高精度電気探査装置の開発と可視化技術の実用化
- ・マルチ同位体法の開発
- ・持続的な地下水管理システムの構築

(2) 「水質浄化・負荷軽減技術の開発」グループ

① 研究分担グループ長: 河原 正奏 (熊本大学大学院自然科学研究科、教授) (主たる共同研究者)

② 研究項目

- ・簡易水質浄化技術の開発
- ・土壌/地下水環境中の微生物学的窒素代謝系の解明

(3) 「淡水生物を利用した水質モニタリング手法の開発」グループ

① 研究分担グループ長: 北野 健 (熊本大学大学院自然科学研究科、准教授) (主たる共同研究者)

② 研究項目

- ・遺伝子導入生物センサー等の開発と実用化の検討

§ 2. 研究実施の概要

湿潤温帯の我国では水循環は極めて活発なため、地下水の帯水層構造と循環様式を把握して適切に管理すれば、水量の持続的確保は可能である。また、硝酸汚染に代表される面的な地下水質汚染に対しても、的確な水質モニタリング手法を用いた発生機構・変動プロセスの把握と、帯水層特性に応じた水質改善策により、持続的地下水利用システムの構築が可能となる。本研究では、特定地域の水循環の一環としての地下水流動機構の解明と、それを踏まえた水量・水質両面からの持続的な地下水利用システムの構築を目的として、これまで個別に実施されていた地下水量評価・水質負荷軽減の開発研究を地下水管理システムとして統合する。

研究方法としては、水理地質構造把握手法としての周波数可変型 3 次元高精度電気探査装置 (H25 年度に特許申請) や、新たな地下水年代トレーサー (CFCs 法、SF6 法、85Kr 法など) の開発を行い、H24 年度までにほぼ方法論を確立した。これら新しい観測データと、これまで熊本地域で蓄積されてきた地下水流動の観測情報を用いて、3 次元地下水流動モデルの検証と内部・外部境界の改良を行って、より現実に対応できる 3 次元地下水流動モデルを H25 年度までに構築した。H26 年度は改良した 3 次元地下水流動モデルを用いて、様々な土地利用に対応した地表面からの窒素負荷の変遷情報を踏まえた帯水層内での硝酸イオン濃度分布の変遷の再現を目指したモデルの構築に着手し、ある程度の再現性を確認した。これらの成果は、H26 年 11 月に熊本地域で行われた日本地下水学会の公開シンポジウムで発表成果として取りまとめるとともに、同学会誌の特集号企画として H27 年 12 月に発行される第 57 巻 4 号に掲載予定で関連編集作業を開始している。熊本地域よりもより地下水流動や窒素負荷が単純な都城盆地および佐田川扇状地に於いても同時に類似モデルを構築し、脱窒の存在しない佐田川扇状地での窒素収支の把握に成功した。また都城盆地では、浅層不圧地下水の硝酸イオン濃度の変遷を希釈効果のみで再現できることが確認され、それを踏まえた深層被圧地下水には希釈効果に加えて脱窒効果が無視できないことを確認した。これら熊本地域・佐田川扇状地・都城盆地でのモデル成果を踏まえて H27 年度の終了時までには地下水質に関する持続的利用の管理方法の提案を目指す。

島嶼地域の研究対象である南大東島については、H26 年度までの現地調査や観測井の継続観測と、ボーリングデータ等から構築された地質モデルや潮位に対する地下水位変動特性から推定された透水係数分布を用いて、3 次元地下水流動モデルによる解析を行い、関連学会誌¹⁸⁾に投稿・受理され出版待ちである。

3 次元高精度電気探査装置の開発と可視化技術の実用化については、これに必要不可欠であった帯水層抽出に有効な周波数帯の特定と、その理論的根拠を明らかにし関連国際学会¹⁶⁾で発表した。さらに、並列回路モデルによれば地下水が塩水、あるいは淡水のいずれかであるかを区分できる可能性も見出せたため、それらを確認するために H26 年度末に南大東島を対象に実証調査を実施した。

また、帯水層内での硝酸性窒素の実態を把握すると共に、そこで出現している微生物を媒介とした生物化学的な脱窒プロセス解明のためにマルチ同位体 (CNOS) 手法を提案・確立し、H24 年度までに閉鎖実験系において妥当性を検証した。H25-26 年度は、還元帯水層における脱窒タイプの判別方法/方法論の有効性を熊本地下水地域で確立/実証し、国際誌¹³⁾に投稿・受理・公

表された。また人為起源の硝酸性窒素負荷を軽減させるため、既に汚染してしまった地下水から効率的に硝酸イオンを除去する選択型イオン交換繊維の開発については、H25年度までに実験室レベルでの対象繊維の性能確認を完了し、H26年度には熊本市上下水道局とタイアップして水道水源井において約1トンの地下水処理を行う実証実験を実施し、実験室規模と同等の性能が実スケールに於いても再現できることを確認した。

さらに、遺伝子導入生物センサーとして開発したメダカやゼブラフィッシュ等を用いて、硝酸イオンを含む地下水質を継続的にモニタリングするために、環境基準値を超過すると発色する生物センサーの開発も並行して行っている。H26年度は、すでに作製に成功している「水質悪化(高温、酸性、アルカリ性)に応答して体色が赤くなる(水質悪化応答性)遺伝子導入メダカ系統」を用いて、硝酸性窒素化合物や実際の地下水に対する応答性を解析した。また、すでに単離した硝酸性窒素応答遺伝子を利用して「水質悪化に反応して体色が赤く、硝酸性窒素に反応して黄色になる(硝酸性窒素応答性)遺伝子導入メダカ系統」の作製を試みたが、系統を確立するまでには至らなかった。一方、ゼブラフィッシュを用いて、硝酸性窒素化合物等が及ぼすドーパミン神経やセロトニン神経系への影響を明らかにした。

H25年度までに構築された熊本地域での取組とそれに対応する地下水流動シミュレーションによるモデル解析により、湿潤温帯地域における地下水量に関しての持続的管理に向けたシステムの構築に関する流れはほぼ順調に整ったと言える。一方地下水質に関する持続的管理システムの構築については、硝酸性窒素の負荷源である畜産廃棄物や過剰施肥に対する対策が、関連条例・規制等の整備を通して既に10年以上前から対応努力が実施されてきているものの現時点での著しい改善効果は見られていない。この状況を踏まえて、H25年度以降に3次元地下水流動モデルに地下水中の硝酸性窒素の挙動を再現できるサブモデルを構築した。そして、不飽和浸透過程での硝酸性窒素の変化情報や、現実の帯水層での脱窒域の形成要因を検討した。H26年度はこのモデルを熊本及び都城盆地地域に適用して、帯水層中の硝酸性窒素の振る舞いを再現・検討した。そして、地域の硝酸性窒素負荷の在り方について帯水層の持つ自然脱窒能を評価し、窒素負荷源の軽減策に結び付けることを試みた。これらをベースにH27年度中に地下水質に関するその持続的利用のための管理方法の提案を目指す。さらに最終年度であるH27年度には、熊本地域の地下水をベースとしてその水量と水質の持続的利用法に対する提案を狙いとしてこれまでのCREST研究の成果を基にした単行本のとりまとめを企画し出版する予定である。

【代表的な原著論文】

1) 梁 熙俊, 嶋田 純, 松田博貴, 利部 慎, 董 林垚, 島嶼地域における地下水位の時系列解析及び電気伝導度を用いた淡水レンズ形状の評価 - 沖縄県南大東島の例 -, 地下水学会誌, 57(2), 2015(印刷中).

2) Hosono T., Tokunaga T., Tsushima A., Shimada J., Combined use of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and $\delta^{34}\text{S}$ tracers to study anaerobic bacterial processes in groundwater flow systems. Water

Research, 54, 284-296, 2014.

3) Asaue, H., Koike, K., and Shimada, J., "Development of Electric Survey method with Variable Frequencies for Aquifer Exploration," *Proceedings of 13th International Symposium on Mineral Exploration (ISME-XIII)*, VNU, Hanoi, Vietnam, pp. 101-106, 2014.