

シラス台地における硝酸性窒素汚染進行メカニズムについての一考察

鹿児島大学 正会員 ○中川 啓
神戸大学 正会員 齋藤雅彦

1. はじめに

鹿児島県大隈半島は、我が国有数の食糧生産基地であるが、化学肥料や家畜糞尿が原因と考えられる硝酸性窒素による地下水汚染が問題になっている。周辺住民は飲料水の大部分をこの地下水に頼っているので、健康を害する危険性が懸念されているし、このシラス台地からの地下水や湧水は肝属川を通じて志布志湾へと注いでいるため、河川や海域での水質悪化も懸念される。よって現状での汚染物質の動態を数値シミュレーションにより明らかにし、適切な対処法を確立することが求められている。本研究では、現状再現と汚染対策の効果を検討するための数値計算モデルの構築を目指して基礎的なモデルの検討を行ったので報告する。

2. 研究対象地の概要

研究の対象とした笠野原台地(図-1)は、鹿児島県大隅半島のほぼ中央部に位置し、肝属川と串良川に挟まれたテーブル状の孤立した高台であり、北から南へ緩やかに傾斜している(上端部で標高約170m、下端で20m程度)約6000ha(南北方向12km、東西方向9kmに広がる面積約59km²)のシラス台地である¹⁾。

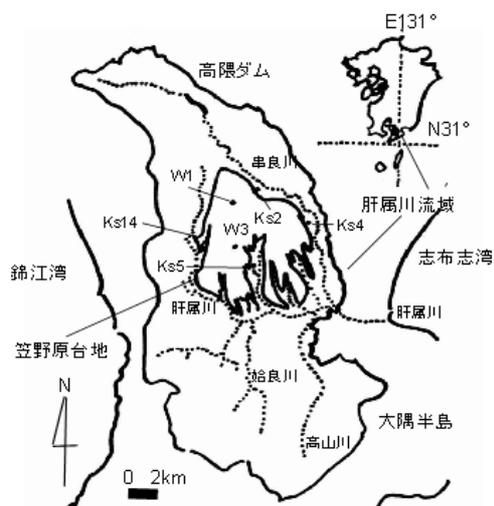


図-1 研究対象地の概要

このシラス台地は、表層は10m程度で、クロボクやアカホヤといった火山灰土に覆われ、その下部に15~80mのシラス層、その下に7m程度の大隅降下軽石層、垂水砂礫層が堆積しており、これら軽石・砂礫層がシラス台地上の主な帯水層として機能している。後のモデル化では、シラス層から表層まで、軽石層、砂礫層の3層として扱い、砂礫層下面の難透水層を不透水性境界とした。図中に、水位観測用の井戸W1とW3および水質観測地点Ks2, Ks4, Ks5, Ks14を示す。

3. 数値計算モデル

研究対象地のモデル化にあたっては、3層構造として、便宜上シラス層、軽石層、砂礫層とする。それぞれの透水係数は既往の研究より、それぞれ、 1.0×10^{-3} , 4.0×10^{-1} , $3.0 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ とした¹⁾。計算領域であるシラス台地全域を地表面から不透水層まで、一つの計算要素を250 x 250 x 5mとして離散化した。地下水流動に関する境界条件は、北側と南側の境界を既往の研究を参考として、一定水位を与え、その他の境界は壁面として解いた。地表面は、日降雨時系列に応じた涵養量を与えたが、このとき台地上の土地利用により、市街地・道路等と、森林・裸地・圃場等の2種類に分類し、文献2)を参考にして、それぞれ降雨強度の0%と70%を与えている。物質輸送の境界条件としては、地表面は汚染負荷分布を参考にして、0.15~1.0の一定濃度、また上流側の流入境界では0とし、その他の境界は、濃度勾配ゼロとした。地下水流動の解法は、基礎式をガラーキン有限要素法で解き、物質輸送の式をガラーキン特性曲線法により解いている^{3), 4)}。また、地下水流動については、飽和-不飽和浸透流の式を用いており、このときの不飽和特性には、van Genuchtenモデル⁵⁾を適用した。数値計算は、まず任意の初期条件から2001年から2006年の降雨データを周期的に繰り返し用いて、

キーワード 硝酸性窒素, 地下水汚染, 数値計算モデル, シラス台地

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-24 鹿児島大学農学部生物環境学科 TEL&FAX 099-285-8695

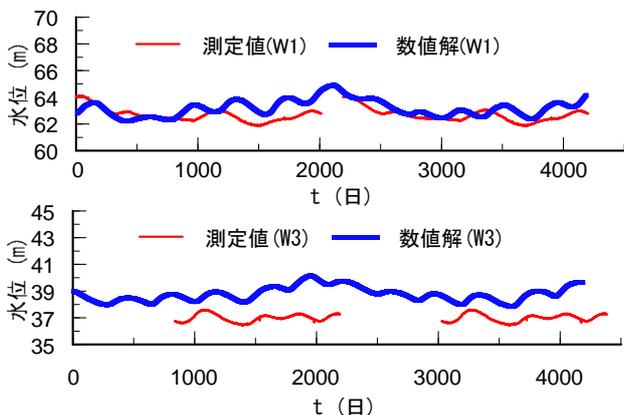


図-2 W1 および W3 における水位変化, 実測値と数値解の比較

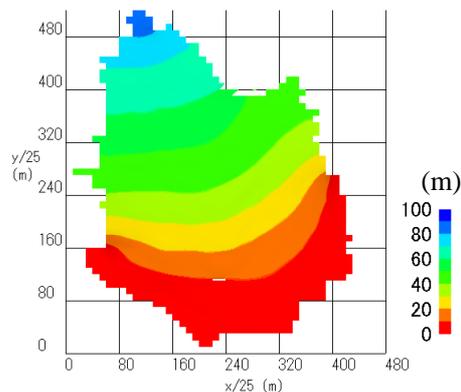


図-3 定常地下水位分布の再現

実測の水位変化が再現でき, 定常的な水位分布が得られるまで地下水流動の計算を行った. そこで得られた水位を初期条件として, 地表面の汚染負荷分布を与え, 地表面以外は初期濃度ゼロとし, 定常的な濃度分布が得られるまでを計算して, そのとき得られる濃度分布を現状の汚染の拡がりであると考えた.

4. 結果と考察

図-2 に W1 および W3 における水位変化について 12 年分の実測値と計算値を示す. 完全には一致していないものの変動の範囲は十分に一致していると言えよう. またシラス台地における定常的な水位分布を図-3 に示す. 既往の観測結果に基づく推定水位分布¹⁾とも十分に一致しており, 与えた境界条件により, 概ね妥当な数値計算結果を得ることができると言えそうである. 地下水流動の向きは, 北端(上端)から南東(右下)へ向かう流れと南(真下)へ向かう流れがあることが分かる. 図-4 に初期に汚染されていないシラス台地へ, 地表面からの負荷が与えられて 6 年後の空間分布を示している. 地表面から鉛直に浸透した汚染物質は, 低濃度部分が南側(下流側)へ拡がりながら流下する様子が確認できる. 実際に湧水や河川へ流出している濃度は, 地表面での負荷量よりもかなり低い濃度になっていると考えられる.

5. おわりに

本研究では, 硝酸性窒素による地下水汚染が進んでいるシラス台地を対象とし, 現状の再現や将来の汚染対策効果の評価のため, 数値計算モデルの構築を行った. 地下水流動に関しては, ほぼ実測の水位変化や定常的な水位分布を再現できるモデルが構築できたと考える. また地表面の汚染負荷量分布に基

づく物質輸送計算によると, 実際に湧水や河川に流出している濃度は, 地表面の負荷量に比べかなり低いものであると考えられた.

謝辞: 八千代エンジニアリング(株)の高橋 努氏と金子のぞみ氏には, 研究対象地の地質構造および地表面における汚染負荷量の分布についてのデータの提供と助言をいただいた. ここに記して謝意を表す.

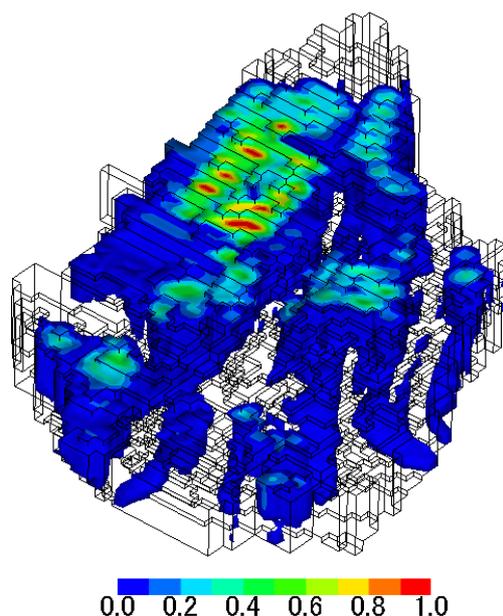


図-4 汚染物質濃度の空間分布 (6 年後)

参考文献

- 1) 久保田富治郎・増本隆夫・松田 周・古江広治: 水質環境と水循環からみた笠野原台地の水文地質特性, 農業工学研究所技報, **203**, pp.81-100, 2005.
- 2) Jinno, K., Tsutsumi, A., Alkaeed, O., Saita, S. and Berndtsson, R.: Effects of land-use change on groundwater recharge model parameters, *Hydrological Sciences Journal*, **54**, pp.300 – 315, 2009.
- 3) 赤井浩一, 大西有三, 西垣 誠: 有限要素法による飽和不飽和浸透流の解析, 土木学会論文集, **264**, pp.87-96, 1977.
- 4) Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L.: *The Finite Element Method*, Vol.3, (5th ed.), Butterworth - Heinemann, pp.13-63, 2000.
- 5) van Genuchten, M.T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society American Journal*, **44**, pp.892-898, 1980.