

群知能による喜界地下ダム地下水流動モデルの構築と硝酸管理への応用 Groundwater modeling in Kikai subsurface dam using swarm intelligence and its application to nitrate management

川田歩美*・○武氣祐璃子**・鈴木麻里子***・井上一哉***

Ayumi Kawada, Yuriko Takeki, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. 緒論

地表水に乏しい鹿児島県喜界島の水資源として建設された喜界地下ダムは、地下水を貯留し安定した水供給に貢献している。一方で、集水井の硝酸態窒素(NO₃-N)濃度は比較的高い水準で推移している。本研究では硝酸汚染リスクの可視化を目的として、流域独自の3次元地下水流動モデルを構築し、ダム湖管理に資する汚染マップを提示する。

2. 群知能による3次元地下水流動モデルの構築

喜界地下ダムは島の耕地面積の80%にあたる1677 haを受益地として、8基の集水井により貯留水を汲み上げている。図1に示すように難透水性の島尻層(泥岩)が地下水盆を形成し、島尻層の上を多孔質で高透水性の帯水層である琉球石灰岩層群が被っている。

地下水流動モデルを構築するにあたり、図1の赤枠で示す3300 m×1700 mの範囲に帯水層の厚みを考慮した3次元領域を設定した。海岸に近い領域の北西端を海拔0 mの地下水位、北西端以外の境界は観測地下水位と標高を勘案して適切な水位を設定した。透水係数*K*の空間分布を推定すべく、地質資料¹⁾に基づいて図2に示すように解析領域をゾーニングした。貯留域の地下水位は年間を通して変動が少ないため、平均的な水位分布として2016年8月15日に20地点で観測された地下水位*h_m*を再現できる各ゾーンの透水係数*K^b*を逆推定した。逆解析にはレヴィフライトに基づく群知能であるカッコウ探索アルゴリズム²⁾を用い、

$$K^b(t+1) = K^b(t) + \lambda \oplus \text{Lévy}(\beta) \quad (1)$$

にて透水係数*K^b*を更新した。ここに、*t*は世代、*b*はゾーンのインデックス、 \oplus はアダマール積、 $\text{Lévy}(\beta)$ は定数 β のレヴィ分布、 λ はステップサイズである。逆解析の過程では、観測地下水位*h_m*と3次元FEM浸透流解析の結果*h_c*の残差自乗和 $\sum_{i=1}^{20} (h_m - h_c)^2$ が最小になる透水係数*K^b*の組

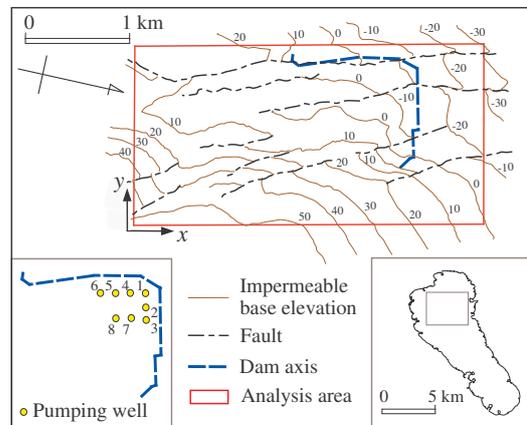


図1：ダムサイトの基盤コンターと解析領域

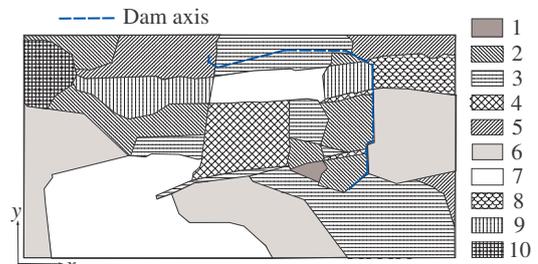


図2：地質資料に基づく透水係数の空間分布¹⁾

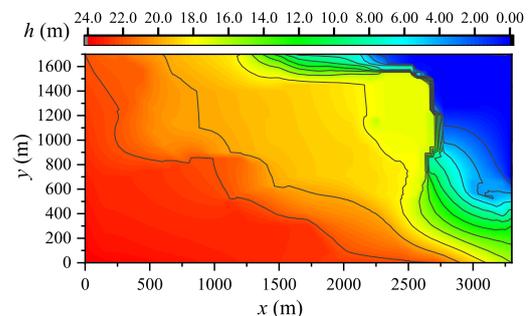


図3：推定した透水係数による再現地下水位

* 阪神高速道路：Hanshin Expressway Co. Ltd. ** 神戸大学農学部：Faculty of Agriculture, Kobe University

*** 神戸大学大学院農学研究科：Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

キーワード：地下ダム，群知能，地下水流動，硝酸汚染

み合わせを求めた。図3に推定結果に基づく地下水位コンターを示す。止水壁による地下水の貯留効果を表現するとともに、既往の報告による地下水位等高線¹⁾とよく一致し、現況の地下水流動を再現していると判断される。

3. 溶質輸送解析と汚染ポテンシャルマップ

図4に土地利用図を示す。農地由来の汚染リスクを把握するため、地下水流動モデルをランダムウォーク粒子追跡法³⁾に連結して流域内のNO₃-N輸送を捉えた。図4に示すように解析領域を95のブロックに区分し、任意の農地に施用された窒素分の集水井への到達割合P(%)を集水井ごとに求め、汚染ポテンシャルマップとして可視化した。揚水量が多い夏季をCase S、揚水量が少ない冬季をCase Wと称し、揚水量をそれぞれ36000 m³/d、2000 m³/dとした。

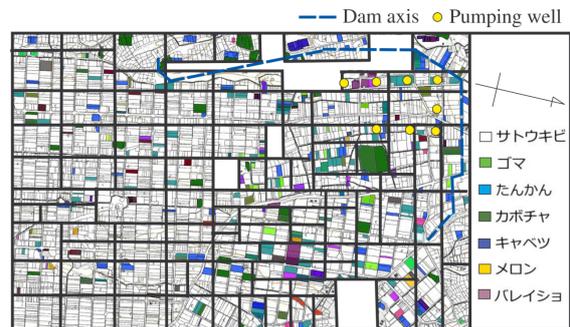


図4：土地利用図と汚染マップのための領域区分

図5に1号、6号、8号集水井に対する汚染ポテンシャルマップを示す。1号集水井に影響する農地面積は6号、8号集水井に影響する農地面積に比べて小さい。流域の地下水は南東から北西方向に流動しており、地下水流れに対して上流側にあたる6号、8号集水井が大部分のNO₃-Nを吸い上げるため、1号集水井に到達するNO₃-Nは相対的に少ないことが要因である。Case SとCase Wを比較すると、汚染ポテンシャルの低い領域は冬季に縮小する傾向にある。他方、汚染ポテンシャルの高い領域は季節的な変化がなく、施肥の時期によらず集水井に窒素負荷をかけている。揚水量の少ない冬季に回収するNO₃-Nが多いことは、揚水中のNO₃-Nが高濃度になることを意味しており、この観点から冬季の施肥による硝酸汚染リスクは高いといえる。

4. 結論

本研究では、群知能により喜界地下ダム流域の地下水流動をモデル化し、既往の報告とよく一致する結果を得た。また、施肥による地下ダムの硝酸汚染リスクを提示するため、逆推定した透水係数分布を連結した溶質輸送解析により各集水井の水質に影響する農地を可視化した。結果として、冬季の施肥がNO₃-Nの高濃度化を招くことを示唆した。

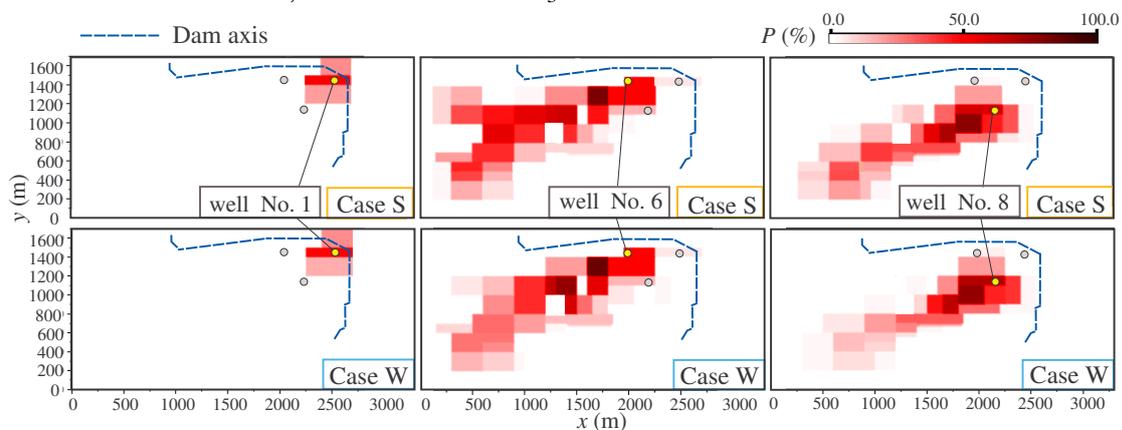


図5：1号、6号、8号集水井についての硝酸汚染ポテンシャルマップ

参考文献：1) 独立行政法人 緑資源機構：地下ダムによる水資源開発の手引き，2006。2) Yang, X.S. and Deb, S.: *NABIC*, pp.210-214, 2009。3) 井上一哉・田中勉：土木学会論文集 A2(応用力学)，71(2), 2015。

謝辞：本研究は、(一社)土地改良建設協会「2020年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」による支援を受けました。