

HYDRUS-1D と MODFLOW を用いた広域地下水流動解析 - 石川県手取川扇状地の事例 -

Transient groundwater flow simulation using HYDRUS-1D and MODFLOW

- Case study in the Tedoru River Alluvial Fan -

岩崎 有美¹・中村 公人¹・堀野 治彦²・川島 茂人¹

¹ 京都大学大学院農学研究科・² 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

要旨(Abstract)

石川県手取川扇状地（面積約 140 km²）を対象として、不飽和浸透流解析が可能である HYDRUS-1D 及び飽和地下水流動解析を行う MODFLOW を用いて、転作田を含む水田地帯における飽和・不飽和帯での浸透過程を考慮した非定常地下水流動解析を行った。その結果、灌漑期前後の地下水位上昇と低下といった水田灌漑を反映した地下水位の季節変動の傾向が再現された。本計算手法が広域の水田地帯での地下水流動解析への適用可能性を示すことができた。

キーワード： 地下水, 不飽和浸透流, 水田, 転作田, 扇状地

Key words: Groundwater, Unsaturated water flow, Paddy field, Rotated paddy field, Alluvial fan

1. はじめに

石川県手取川扇状地には豊富な地下水資源が存在し、この地下水資源の持続的な利用のためには、地下水資源の更新速度に関わる地下水涵養量の推定が重要である。対象地に広く分布する水田は重要な涵養源と考えられるものの、水田の現在約 26 %で転作が実施され、涵養量の低下が懸念される。本研究では、水田面積率と転作率の変化が地下水環境に与える影響を評価するため、比較的広範囲な水田地帯を対象として、不飽和浸透流を考慮した非定常地下水流動解析を実施した。

2. 対象領域と解析方法

(1) 手取川扇状地概要

研究対象地は、手取川、犀川・伏見川、日本海、白山山地で囲まれる面積 140 km²の手取川扇状地右岸域とした。扇頂標高 90 m、平均勾配 1/140 である。水田面積率は、1991 年から 2009 年にかけて 61 %から 45 %へと経年的な減少傾向にある。一方、畑地面積率は年によらず 2 %である。水田面積の 13~31 %で転作が実施され、ダイズ、コムギが栽培されている。

(2) HYDRUS-1D と MODFLOW による地下水流動解析

不飽和浸透流解析は、鉛直 1 次元の Richards 式を解いて行うこととした。解析プログラムには、HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2005) を用いた。HYDRUS-1D で計算されるプロファイル下端での水分フラックスを地下水流動モデルの涵養量として入力した。水田の土壌構造を考慮して、地表面から深さ 20 cm までを作土層、20~30 cm を耕盤層、30 cm 以深を心土とした。プロファイルは、1993 年非灌漑期の地下水一斉観測結果から推定した地下水面深さを基に、地下水位の変動を考慮して地表面から地下水面より下 5 m までの領域とした。プロファイルは地下水流動モデルの各セルについて設定した。水分移動の上端境界条件は大気境界条件とした。金沢地方気象台での気象データから Penman 式により計算された蒸発散位を算出し、これを水田、転作畑の LAI と植被率を用いて可能蒸発量、可能蒸散量に分離した。積雪・融雪期は degree-day 法により推定した融雪量を降水量として与え、灌漑期間中は、代かきや湛水、中干しなどの水田水管理を考慮して灌水量を入力値とした。根群域からの吸水を考慮し、Feddes のパラメータには各作物の文献値を与えた。下端境界条件は自由排水条件と

した。各土層の土壤水分特性パラメータ (van Genuchten 式) は、地下水位変化等が再現されるように、試行錯誤的に決定した。

地下水流動解析には、3次元有限差分法 (MODFLOW, Harbaugh et al., 2005) を用いた。解析対象領域を水平方向に、400 m × 400 m のグリッドにより 897 個のセルに離散化し、鉛直方向は 4 つのレイヤを用いた準 3 次元解析とした。犀川は地下水位内挿値、沿岸は平均海水面標高による定水頭境界とし、手取川は河川水位と地下水位の水位差に応じて流量を与える流量境界とした。境界条件や水文パラメータの詳細は岩崎ら (2013) を参照されたい。揚水量は、年間揚水量データを基にして、2008 年の 1 km メッシュの年間揚水量分布、2005 年の月別揚水量割合を考慮して月単位で入力した。年間揚水量は、1993 年度に対して 2009 年度は 28 % 減少した。

HYDRUS-1D では水稻作付け水田 (水田)、転作田、畑地を計算対象とした。領域内の水田面積率、畑地面積率と等しくなるように、各セル内の土地利用面積割合を基に、水田セル、畑地セル、非涵養セルを設定した。水田セルの内、転作率に応じて転作田セルをランダムに決定した。ある年のセルの土地利用の種別は、前年 11 月から当年 10 月まで適用される。解析期間は、地下水位一斉観測が行われた 1993 年 12 月から 2009 年 11 月の約 17 年間である。HYDRUS-1D, MODFLOW の解析は日単位で実施したが、計算時間短縮のため、得られた涵養量の旬平均を MODFLOW に入力した。

3. 結果と考察

図-1 に扇中央部観測井での地下水位の計算値と実測値及び観測井に対応するセルにおける土地利用と HYDRUS-1D から計算された涵養量を例として示す。本地域の地下水位は、水田灌漑の影響を受けて、灌漑期初期に上昇し、灌漑期間中は高水位を維持し、灌漑期の終了とともに水位が通減し、非灌漑期には消雪用揚水の

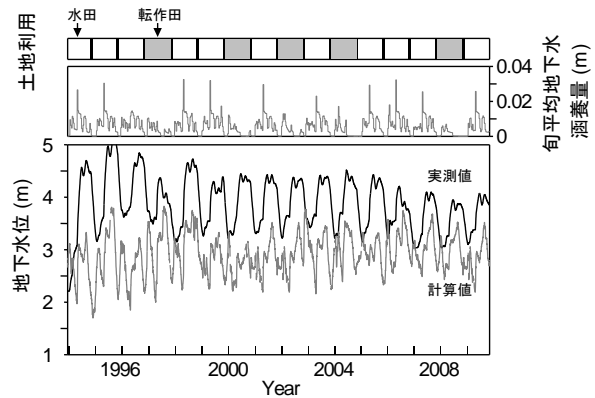


図-1 扇中央部観測井の地下水位の実測値と計算値及び対応セルの土地利用、旬平均地下水涵養量

影響により若干変動するという季節変動を示す。揚水量データの時空間的な制限のため、冬季の消雪用揚水等による局所的、短期的な地下水位変化についての再現性には課題が残るものの、飽和・不飽和帯の物理的な水移動モデルを用いた本計算手法によって比較的広域の地下水流動をおよそ再現することができた。2008 年において本扇状地内 25 圃場で観測した中干し前、中干し時の減水深から灌漑期平均蒸発散量を差し引いた降下浸透量は 10.7 mm/d (丸山ら, 2012) であり、図-1 に示した同期間の涵養量はこの値の 94~106 % であり、涵養量の計算値は概ね妥当であると考えられる。地下水位変化が比較的小さくなる、非灌漑期かつ非積雪期の 9 月中旬~10 月下旬においては、降水量の 11 % が地下水涵養に寄与していることがわかった。

4. おわりに

将来予測が可能なものとして本手法が利用できるように、より長期にわたる過去の地下水位の変化が再現されるかを検討したい。

参考文献

- 1) Šimůnek J et al. (2005) : The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Series 1.
- 2) Harbaugh AW et al. (2000) : MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground water model - User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92: 121.
- 3) 岩崎有美ら (2013) : 定常地下水流動解析に基づく手取川扇状地における灌漑期の地下水位に影響を与える要因の評価, 水文・水資源学会誌, 26 (2), 99-113.
- 4) 丸山利輔ら (2012) : 手取川扇状地における水収支の分析, 水文・水資源学会誌, 25 (1), 20-29.